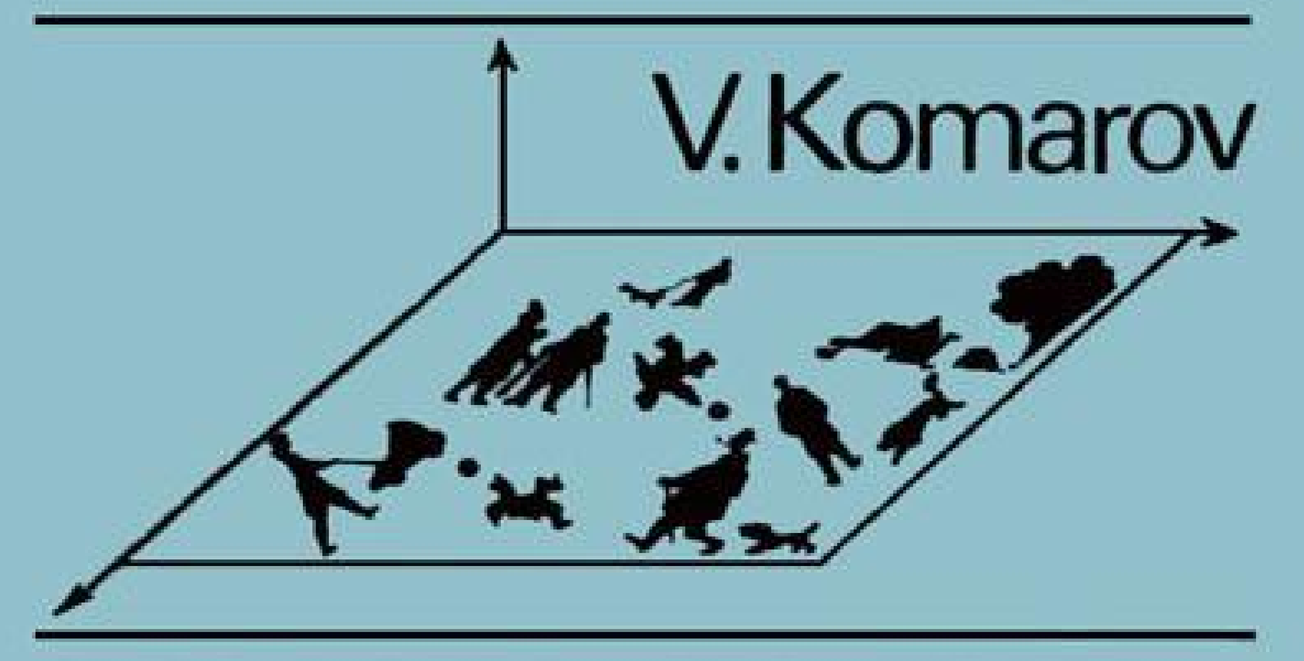
ciencia popular

Nueva astronomía recreativa

V. Komarov



El autor de este libro aspira, con ayuda de la ciencia a ficción, a atraer la atención especial de los lectores a ciertos problemas de la astronomía moderna, reanimar esos problemas, hacerlos más salientes, facilitando así su comprensión. El autor espera que su idea tendrá resonancia entre los lectores.

Editorial · Mir · Moscú



В. Н. КОМАРОВ

НОВАЯ ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ

МОСКВА «НАУКА»

ciencia popular

Nueva astronomía recreativa

V. Komarov

EDITORIAL MIR MOSCÚ

Traducido del ruso por el ingeniero B. A. Mirchevski

Impreso en la URSS

на испанском языке

Indice

Del autor

La astronomía es no sólo atractiva, sino sumamente instructiva. Fue una de las primeras ciencias nacidas en el alba de la humanidad, y siempre permaneció en la primera línea del frente del conocimiento de la naturaleza.

La ciencia astronómica moderna se desarrolla especialmente en ritmo impetuoso. Gracias a la aparición de los nuevos medios de investigaciones, desde los radiotelescopios hasta los distintos aparatos cósmicos, la afluencia de información del cosmos ha aumentado bruscamente, y los descubrimientos en la esfera del estudio del Universo vienen de hecho uno tras otro.

Estos descubrimientos representan especial interés, dado que la astronomía nos da los conocimientos fundamentales sobre la naturaleza, es decir, pone al descubierto las leyes generales más profundas de la estructura y el movimiento de la materia.

Sin embargo, la astronomía no sólo nos arma de las nociones modernas de cómo es el mundo, sino representa uno de los ejemplos más brillantes del carácter dialéctico del proceso del conocimiento de la naturaleza que nos rodea, del movimiento de las verdades relativas a la absoluta.

La tarea del presente libro consiste en no sólo comunicarle al lector una serie de hechos astro-

nómicos recreativos, sino también en hacerle conocer la dialéctica del desarrollo del pensamiento científico, en convencerlo de que la época moderna requiere un pensamiento dinámico creados exento de ideas preconcebidas, unas ideas nuevar originales.

Pero todo lo nuevo en la ciencia, por original que parezca, al fin y al cabo siempre crece sobre el fundamento del conocimiento anterior. Algo común existe también en los métodos de solución de diferentes problemas científicos, aunque todo problema científico es único en su género.

En relación con esto, una parte considerable del libro está dedicada al examen de tales hechos y nociones, los cuales se consideran, desde el punto de vista de la ciencia astronómica moderna, establecidos con suficiente seguridad.

No obstante, en la astronomía moderna existen no pocos problemas que todavía no han tenido una solución lo suficientemente satisfactoria. En virtud de esto en la ciencia se discuten diferentes hipótesis, a veces bastante extravagantes. Y, probablemente, una parte de éstas será descartada en el proceso del siguiente desarrollo de nuestros conocimientos sobre el Universo. Pero los astrónomos no pueden pasar sin hipótesis, es decir, las suposiciones científicas que todavía no se han demostrado, pero tampoco han sido desmentidas. Además, sin duda alguna, también en los años más próximos esta ciencia se desarrollará rápidamente y tendrá que comprender unos hechos cada vez más nuevos. La hipótesis es una forma imprescindible del desarrollo de las ciencias naturales.

Por eso en el presente libro, junto con los hechos establecidos con seguridad, se exponen también ciertas hipótesis más interesantes enlazadas con el estudio del Universo.

En la astronomía moderna tiene lugar un

proceso que con una fuerza especial se ha desarrollado aun antes en la física. Las nociones científicas del Universo se hacen cada vez más abstractas, menos evidentes, más difíciles para la comprensión.

Por eso el autor ha decidido recurrir a un método un poco insólito para la literatura de divulgación científica: la ciencia-ficción. Una de sus cualidades positivas es la capacidad de dar materialidad y evidencia a las ideas más abstractas.

El autor aspira, con ayuda de la ciencia-ficción, a atraer la atención especial de los lectores a ciertos problemas de la astronomía moderna, reanimar esos problemas, hacerlos mas salientes facilitando así su comprensión.

El autor espera que su idea tendrá resonancia entre los lectores.

CAPÍTULO I

Lo recreativo y la astronomía

Existen muchos libros, en cuyo título estas dos palabras están cerca: «Astronomía recreativa», «Lo recreativo en la astronomía», «Sobre la astronomía de una manera recreativa».

Se cambiaban los títulos. Se desarrollaba la astronomía, aumentaba el nivel de conocimientos, y lo que ayer parecía asombroso, hoy en día se tornaba no sólo sabido por todo el mundo, sino algo muy natural; se cambiaba también la propia noción de lo recreativo.

La revolución más grande en las ciencias naturales en el límite de los siglos XIX y XX, la aparición de las teorías físicas nuevas de principio, tales como la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, no sólo ampliaron considerablemente las nociones científicas del mundo, sino cambiaron mucho también el estilo del pensamiento científico, la concepción del estudio de los fenómenos naturales.

Cada vez más frecuentemente se realizan descubrimientos inesperados, sobre todo en la física y la astronomía, que hacen revisar en lo esencial las nociones usuales, revelan nuevas facetas de los fenómenos, amplían y profundizan considerablemente nuestras ideas del mundo.

Por supuesto, esto no quiere decir en absoluto que la ciencia del futuro próximo desmentirá

rotundamente todos nuestros conocimientos modernos. Sería absurdo esperar algo semejante. Las ciencias naturales alcanzaron unos éxitos grandiosos en el conocimiento de la naturaleza, descubrieron muchas leyes fundamentales que hallaron no pocas aplicaciones prácticas. Es el fondo de oro que conservará su valor para cualesquiera «golpes científicos». Claro está que la ciencia avanza, pero en este movimiento se apoya ante todo en toda la suma de los conocimientos alcanzados. Y si hasta en la ciencia ocurren revoluciones y se confirman unas nociones nuevas de principio, de todas maneras las teorías fundamentales anteriores entran en ellas en calidad de partes integrantes y siguen justas para una esfera determinada de fenómenos y condiciones.

Sin embargo, el desarrollo de la ciencia moderna está ligado en mucho con lo insólito. Las ideas insólitas que contradicen a las opiniones establecidas, el planteamiento insólito de un problema, una manera insólita de ver cosas corrientes, un enfoque insólito de la solución de uno u otro problema; la comparación de cosas que son, al parecer, incomparables; una conclusión singular de los datos conocidos hace tiempo; por fin, unos hechos nuevos que contradicen a las nociones establecidas que se tornaron corrientes.

Contradicciones, paradojas . . .

Consultemos la «Gran Enciclopedia Soviética». Revelaremos que llámase paradoja cualquier fenómeno u opinión que contradice a las nociones universalmente aceptadas y hasta al sentido común.

Hay varias paradojas. Unas reflejan la situación real de las cosas, otras, sólo las contradicciones aparentes. Pero de todas maneras, la paradoja es ante todo una contradicción

Lord Chavercham, uno de los personajes de la comedia conocida «Marido ideal» del escritor

inglés Oscar Wilde, repite muchas veces a lo largo de la pieza la misma frase sacramental:

—¿Paradoja? ¡No tolero paradojas!

No es tan difícil adivinar por qué las paradojas provocaron una enemistad tan obstinada del lord venerable. Es que cada contradicción destruye inevitablemente la mentalidad habitual, reclama que se llegue a comprenderla... Oscar Wilde puso en ridículo, en la persona de lord Chavercham, el tradicionalismo terco y el conservatismo de la mentalidad de cierta parte de la nobleza inglesa que no quería molestar a sí misma con los pensamientos y prefería eludir todo lo confuso e insólito.

No obstante, no es tan fácil eludir las paradojas, porque se tropieza con ellas prácticamente en todas las esferas de la actividad humana.

Existen, por ejemplo, paradojas entretenidas, razonamientos que contradicen a la opinión aceptada por todos y en el primer instante asombran y hasta dejan estupefacto. ¿Acaso no es paradójico el proverbio siguiente: quien va despacio, llega lejos? Son necesarios ciertos esfuerzos para comprender el sentido que radica en esta confirmación contradictoria. Pero sí existe . . .

Son bastante interesantes las paradojas lógicas llamadas sofismos, razonamientos completamente estrictos, pero que conducen a unas conclusiones contradictorias en su interior, con respecto a las cuales no se puede decir si son verídicas o falsas. Los sofismos eran conocidos ya por los pensadores de la Grecia antigua.

Un hombre declaró: «¡Todo lo que digo es mentira!». Pero de aquí se desprende que mintió también en esto caso. Y esto, a su vez, quiere decir que dijo la verdad. Pero si todo lo dicho por este hombre es verdad, entonces mintió, etc.

Existe también una leyenda conocida sobre el castigo de un sabio. Antes de quitarle al acusado

la vida, el juez le ofreció la última palabra prometiendo que si el condenado dice la verdad lo ahorcan, y si miente, lo decapitan. Sin pensar mucho, el sabio exclamó: «Me decapitarán!» Y... se tuvo que aplazar la ejecución. Es que si ahora ahorcasen al sabio, resultaría que había mentido y se tendría que cortarle la cabeza. Pero si se hiciera así, esto significaría que había dicho la verdad y habría que ahorcarlo...

En ambos casos los razonamientos absolutamente correctos, que no contienen ningunos errores, conducen a unos resultados interiormente contradictorios que no pueden considerarse ni verídicos, ni falsos.

Entre tanto, la paradoja aquí no es que giramos por un círculo vicioso de afirmaciones contradictorias, sino que dentro de los marcos de la lógica formal estricta e infalible que sólo acepta o «sí», o «no», son posibles las situaciones donde no se puede afirmar ni «sí», ni «no».

Por lo visto, las propias premisas iniciales contienen algunos defectos de principio. Es interesante que no se pudo, de hecho, aclarar hasta hoy la naturaleza de esas paradojas.

Las paradojas desempeñan un papel importantísimo también en el desarrollo de la ciencia. El académico L. I. Mendelstam, físico soviético de renombre, dijo que existen dos grados de entendimiento de uno u otro problema. El primero es cuando el círculo dado de fenómenos está bastante bien estudiado y, al parecer, se sabe todo lo que concierne a éste. Pero si surge un problema nuevo en la misma esfera, puede dejar desconcertado.

Y el segundo grado de entendimiento es cuando aparece el cuadro general, se comprenden perfectamente todos los enlaces, tanto interiores como exteriores.

Pues bien, muchas veces la transición de la primera etapa de entendimiento a la segunda, más

alta, está enlazada con la resolución de unas u otras paradojas y contradicciones.

Por ejemplo, el físico conocido Sadi Carnot creyó en su tiempo que en la naturaleza existía una cantidad constante de calor, y éste sólo corre de un nivel a otro. Pero al poco tiempo otro científico, Joule, comprobó por vía experimental que el calor puede surgir de nuevo a cuenta de la ejecución de un trabajo. Ambas afirmaciones contradecían claramente una a otra. Las tentativas de resolver esta contradicción llevaron a fin de cuentas a la creación de la termodinámica moderna, la ciencia sobre los procesos térmicos.

Es bien sabido que las contradicciones y paradojas que resultaron insolubles dentro de los marcos de la física clásica condujeron a la creación de la teoría de la relatividad y más tarde, de la mecánica cuántica.

Con la superación de unas paradojas bastante considerables está ligada también la elaboración del cuadro moderno de la estructura del Universo.

La astrofísica moderna también enfrentó fenómenos paradójicos. Ultimamente en las profundidades del Universo fue descubierta una serie de objetos y fenómenos insólitos: la radioemisión relicta, que confirmó las conclusiones teóricas de que nuestra Metagalaxia se había formado como resultado de la descomposición explosiva de un enjambre superdenso de plasma caliente; los quasares, que liberan unas cantidades enormes de energía; los pulsares, fuentes de emisión de impulso, que resultaron estrellas neutrónicas hipotéticas; los procesos explosivos en los núcleos de las galaxias; las estrellas de rayos X; la radioemisión del hidróxilo cósmico OH y muchas cosas más.

Es muy posible que estas sorpresas del Universo es la primera señal sobre la necesidad de «perfeccionar» nuestras nociones de la materia y del

mundo, aunque es demasiado temprano para sacar la conclusión de que los nuevos descubrimientos astronómicos deben traer consigo obligatoriamente una revolución siguiente en la física.

«La mayoría de los astrofísicos considera,— escribe el académico V. L. Guinzburg, físico soviético de renombre,— que la posibilidad de explicar los fenómenos insólitos en el Universo sin recurrir a nociones esencialmente nuevas no se excluye todavía... Por otro lado, los núcleos de las galaxias y los quasares son precisamente aquellos objetos donde lo más probable se puede sospechar la existencia de desviaciones de las leyes físicas conocidas...»

Las contradicciones y paradojas pueden desempeñar en la ciencia un papel más modesto, ayudando a aclarar el cuadro del fenómeno, llegar a comprender toda la variedad de enlaces interiores de uno u otro proceso, componer una noción correcta de los métodos del conocimiento científico de la naturaleza.

Así pues, es provechoso echar una mirada a ciertos fenómenos del mundo que nos rodea por un lado insólito, tratando de verlo no tal como nos parece a través del prisma de nociones habituales.

Involuntariamente llegan a la memoria las palabras del eminente escritor norteamericano de novelas de ficción científica Robert Sheckley:

«...No hay cosa que no se pueda volver de revés convirtiéndola en la propia contrariedad. Partiendo de tal admisión, se puede jugar a muchos juegos entretenidos. . .»

Vale la pena añadir: no sólo entretenidos, sino también útiles. Y no sólo para un astrónomo, físico o químico, sino para cualquier especialista ocupado en su tarea creadora: escritor, pintor, ingeniero y en general para toda persona ávida de saber.

Cuando a un diseñador conocido le preguntaron qué cualidades, según su opinión, debe poseer un buen ingeniero, él replicó casi coincidiendo con Sheckley: «Un ingeniero de verdad debe no sólo comprender bien uno u otro fenómeno, sino saber darle la vuelta».

Es insuficiente estudiar algún fenómeno en el manual, empollar las leyes correspondientes y aprender de memoria las fórmulas matemáticas. Hay que saber enfocar el fenómeno desde varios puntos de vista, saber imaginar lo que sucede si transcurre de una manera un poco diferente. Y más, estar preparado para que *puede* transcurrir no así como lo esperamos.

R. Feinman, eminente físico contemporáneo, escribe en su libro «Carácter de las leyes físicas»:

«...Un filósofo dijo: «Para la propia existencia de la ciencia es imprescindible que en las mismas condiciones siempre se obtengan los mismos resultados». Pero esto no se logra. Usted puede reproducir exactamente todas las condiciones y de todas maneras no podrá predecir en qué agujero verá un electrón. No obstante, a pesar de esto, la ciencia vive, aunque en las mismas condiciones no siempre se obtienen los mismos resultados. . . Por eso en la realidad, para la propia existencia de la ciencia es imprescindible lo siguiente: mentes lúcidas que no exigen de la naturaleza que satisfaga unas condiciones previstas de antemano. . .»

El propósito del libro presente consiste en hacer conocer lo insólito en la astronomía moderna. Son por un lado los hechos nuevos, insólitos desde el punto de vista de las nociones tradicionales de ayer, y por otro lado, la revisión de los hechos conocidos desde un punto de vista singular. Una parte del libro está dedicada a las suposiciones hipotéticas originales, así como a ciertos proble-

más discutibles de la ciencia moderna sobre el Universo.

La ciencia moderna, y sobre todo la astronomía, invade valerosamente lo desconocido. Es igualmente que se borra hoy en día el límite entre las construcciones teóricas abstractas y las aplicaciones prácticas, desaparece el límite entre la ciencia y lo fantástico. Por un lado, la propia ciencia moderna juzga con bastante tolerancia y atención las hipótesis fantásticas más aturdidas, por otro, la ciencia ficción es el escenario donde pueden expresarse y discutirse, con más libertad que en la ciencia «oficial», las ideas más inverosímiles, por supuesto, si éstas tienen un germen racional. Y quizás precisamente esta última circunstancia atrae hoy a la esfera de la literatura de ciencia ficción no sólo a los escritores, sino a muchos científicos profesionales.

Por fin, la ciencia ficción hace más visibles y palpables muchas ideas y problemas del todo reales, y por eso más accesibles para la comprensión.

Al familiarizarse con los problemas más agudos de la ciencia moderna sobre el Universo, nosotros recurriremos a la ayuda de la ciencia ficción.

El mundo, en el cual introduce este libro, será principalmente astronómico. Pero cerca de sus límites se encuentran también otras ciencias: física, matemática, biología, química... Una de las particularidades características de la ciencia moderna: la abundancia de problemas marginales. . .

Poniéndonos en marcha, citaremos un trozo oportuno más de un cuento de R. Sheckley:

«Es bien posible que en el mundo alterado no pase contigo nada en absoluto. Es insensato calcular eso, pero tampoco es sensato no estar preparado para eso. Tal vez estas observaciones sobre el mundo alterado no tengan nada que ver

con el mundo alterado, pero el viajero está prevenido».

El libro que Usted se pone a leer no es de ninguna manera una exposición lógica y consecutiva de la astronomía moderna o de algunas de sus partes, una variante recreativa del curso sistemático de la ciencia astronómica. En ésto se examinan sólo ciertos problemas, de uno u otro modo ligados con el estudio del Universo y que representan interés desde el punto de vista de aquella comprensión de lo recreativo, de la que se ha hablado más arriba.

El autor trató de recurrir lo menos posible a los cálculos y las fórmulas, ya que vió su principal propósito en revelar al lector, sin pretender a una exposición estricta, ante todo la parte cuantitativa de los fenómenos y las particularidades de su estudio.

Todo comienza... con la negación

Una buena mitad de los descubrimientos científicos comienza, por curioso que parezca a primera vista, con la negación. Lo negativo y lo positivo. Los extremos que se excluyen mutuamente. Pero, ¿es exactamente así en la realidad? ¿No nace en ciertos casos lo positivo de lo negativo? Y en particular, ¿acaso es tan «negativo» el papel de «lo negativo» en la ciencia? ¿Tal vez sea más bien «positivo»?

Detrás de este juego aparente de palabras se esconden cosas serias.

Cada teoría científica tiene sus límites, aquel círculo de fenómenos y condiciones que describe bastante bien: los límites de su aplicabilidad. Cualquier teoría está inevitablemente limitada y no es capaz de reflejar todos los fenómenos de una naturaleza infinitamente variada. Es verdad que existe el punto de vista, de acuerdo con el

cual toda la variedad de procesos mundiales puede describirse, en un principio, por un número finito de leyes fundamentales. No obstante, la legitimidad de tal confirmación infunde serias dudas. En todo caso, todavía no está confirmada con nada. La historia de las ciencias naturales testimonia más bien lo contrario.

Así, cualquier teoría, hasta la más general, tiene sus límites de aplicabilidad, y tarde o temprano se revelan hechos que se encuentran fuera de esos límites: sucede la negación de las nociones corrientes. Precisamente aquella negación, a partir de la cual comienza la creación de una nueva teoría más general.

Y no debe imaginarse en absoluto que la nueva teoría niega completamente todo lo que había antes. Al contrario, absorbe lo alcanzado como cierto caso particular límite. En aquella esfera, dentro de la cual la teoría anterior está confirmada por los hechos, conserva totalmente su importancia. En esto consiste el «principio de correspondencia», uno de los postulatos fundamentales de la ciencia física de hoy.

La teoría anterior no sólo no se liquida, sino por el contrario, su prestigio crece muchas veces. Primero, sus postulatos se aplican ahora dentro de unos límites más definidos, lo que aumenta su fiabilidad. Y segundo, su valor se confirma no sólo por sus propios «méritos», sino también por los méritos de una teoría más general, cuyo caso particular se hace ahora . . .

Por tanto, con la aparición de una nueva teoría se niega no el conocimiento anterior, sino sólo los «equívocos» anteriores.

Por ejemplo, en la época de dominio de la física clásica se creía que las leyes mecánicas eran aplicables a todos los fenómenos de la naturaleza sin exclusión alguna. Esto era un error. Precisamente en ésta, y no en la mecánica newtoniana,

acertó un golpe la teoría de la relatividad. En lo que se trata de la propia mecánica clásica, resultó un caso particular de la teoría de la relatividad para unas velocidades mucho menores que la de la luz, y para unas masas no muy grandes. Gracias a esto, la mecánica no sólo no perdió su importancia, sino por el contrario, se hizo incomparablemente más auténtica.

De esta manera, el progreso considerable de la teoría científica comienza con la negación.

No es casual que la búsqueda de nuevos hechos se realiza con especial intensidad precisamente en tales direcciones, donde hay razones de esperar la obtención de una información nueva de principio.

«...Los experimentadores efectúan la búsqueda con mayor esmero allá donde es más probable hallar la refutación de nuestras teorías, —afirma R. Feinman—. Con otras palabras, tratamos de desmentir lo más rápido posible a nosotros mismos, puesto que es el único camino del progreso».

Pero cada negación es precedida inevitablemente de una duda.

«La duda es un componente imprescindible de una ciencia en desarrollo —dice el mismo R. Feinman—, una de las premisas del conocimiento científico: o dejamos abierta la puerta a nuestra duda, o no habrá ningún progreso. No hay conocimiento sin problema, no hay problema sin duda...»

Así, la vía principal del progreso científico es la siguiente: hechos nuevos—dudas—negación de las nociones corrientes—elaboración de nociones teóricas más generales que las anteriores. Y la negación en esta vía es una de las estaciones de empalme.

Así pues, los hechos nuevos que contradicen a las nociones existentes desempeñan, a fin de

cuentas, no un papel destructivo, sino, por el contrario, un papel creador: conducen a la generalización y profundización de esas nociones.

La ciencia astronómica de las últimas décadas es especialmente rica en descubrimientos de hechos nuevos. Y lo debe, ante todo, al perfeccionamiento de los telescopios y la aparición de nuevos métodos eficientes de investigación del universo, tales como la radioastronomía, la astronomía de rayos infrarrojos, ultravioleta y X, la gammaastronomía, así como al desarrollo de los vuelos al cosmos y la aplicación de diferentes aparatos cósmicos para las observaciones astronómicas.

Un papel bastante importante desempeña el hecho de que el cosmos se convierte ante nuestros ojos en el suministrador de una información científica muy valiosa, cuya importancia sale mucho más allá de los marcos de los intereses puramente astronómicos.

En los espacios inabarcables del Universo transcurren tales procesos, los cuales no existen en la Tierra y que no conocemos todavía. Las formas innumerables de existencia de la materia, las fuentes de energía desconocidas por el hombre, las condiciones físicas insólitas. . .

La física moderna alcanzó tal nivel de desarrollo cuando apenas cada paso dado hacia adelante requiere experimentos bastante finos y complicados, para efectuar los cuales se tiene que crear unas instalaciones cada vez más potentes y grandiosas. Su construcción lleva años y necesita gastos considerables. Pero no se trata solamente de esto. Las investigaciones físicas modernas de hoy representan, como regla, de una u otra manera en la mayoría de los casos la comprobación experimental de unas u otras conclusiones teóricas. De año en año quedan menos posibilidades de encontrar durante el experimento un fenóme-

no imprevisto, completamente inesperado. Prácticamente hace mucho que pasaron los tiempos de la búsqueda física experimental «libre», como en la «buena» época clásica vieja.

Otra cosa es la búsqueda en el laboratorio infinitamente variable del Universo, donde siempre existe la posibilidad de descubrir algo desconocido. Aunque, por supuesto, también aquí mucho depende de los medios técnicos (todavía no podemos observar todos los fenómenos físicos) y de las premisas teóricas (se puede observar algo original sin darse cuenta).

Claro está, no debe pensarse que los físicos ya no tienen que hacer en la Tierra y sólo les queda dirigir sus esfuerzos al estudio de los fenómenos cósmicos. La física cósmica y la de la Tierra deben completar una a otra. Pero en todo caso, en la etapa presente del desarrollo de las ciencias naturales, el Universo puede llegar a ser en un futuro próximo un suministrador importante de una información muy valiosa, que es capaz de ensanchar considerablemente nuestras nociones acerca de la física del mundo.

Pero no es tan fácil obtener nuevos hechos en el laboratorio del Universo. Ante todo porque los objetos cósmicos se hallan a unas distancias enormes de la Tierra. Existen también otras dificultades.

"Cajas negras" en el cosmos

En la cibernética se examina el problema siguiente. Hay cierto objeto, cuya construcción interior ignoramos. Lo llaman «caja negra». Pero dicho objeto tiene «entradas» y «salidas». A las «entradas» llegan las influencias exteriores, el objeto responde con determinadas reacciones.

El problema consiste en que, sin «abrir» la caja negra, sólo sabiendo el carácter de las seña-

les de entrada y de salida, tener una idea de su constitución interior.

Imagínese que Usted desconoce la estructura y el principio de acción de su radiorreceptor. Sólo sabe que a su «entrada» llegan las señales eléctricas de la antena, y en la «salida», el altavoz, escuchamos el sonido: las voces, la música, el canto. A partir de esos datos de «entrada» y de «salida» es necesario tener una idea de la estructura de la caja negra, el radiorreceptor.

Existen, en principio, dos vías de solución del problema. Se pueden registrar las señales que vienen de la antena y compararlas con lo que sucede en la «salida». Es la vía de observaciones. Pero existe otra posibilidad, más activa. Podemos nosotros mismos suministrar a la «entrada» diferentes señales observando lo que sucederá en la «salida».

Es evidente que la segunda alternativa es más eficiente; descubre, en particular, la posibilidad de la comprobación operativa de las hipótesis y suposiciones que surgen con respecto a la «estructura» de la caja negra. Estudiando las leyes que enlazan entre sí las señales de entrada y de salida, puede construirse, en principio, un modelo que refleja con suficiente exactitud la estructura de la caja negra. Los astrofísicos resuelven problemas análogos. La mayoría de los objetos cósmicos son cajas negras, cuya constitución interior, es decir, los procesos físicos que transcurren dentro de éstos, pueden estudiarse sólo a partir de las manifestaciones exteriores.

No obstante, la situación de los astrónomos se complica por lo menos con dos circunstancias. Primero, están privados de la posibilidad de experimentar, únicamente pueden observar. Segundo, la mayoría de las cajas negras cósmicas no tienen «entradas».

Por lo menos, hasta ahora ignoramos esas «en-

tradas». Por ejemplo, desconocemos tales influencias exteriores que puedan cambiar el transcurso de los procesos físicos en el Sol. La verdad es que existe una hipótesis extravagante que pertenece a E. Brown, según la cual las oscilaciones periódicas de la actividad solar están enlazadas con las perturbaciones de flujo por parte de los planetas. Pero todavía es sólo una suposición...

A propósito, entre los objetos cósmicos existen también tales, para los cuales las influencias exteriores desempeñan un papel importante. En particular, se descubrieron unos fenómenos curiosos en los llamados sistemas dobles constituidos por dos estrellas que giran alrededor del centro común de masas. Si una de tales estrellas es lo suficientemente maciza y posee un campo gravitatorio potente, en ella debe fluir, según las conclusiones de la astrofísica moderna, la materia de la segunda estrella «normal». Un proceso semejante puede desempeñar el papel de la señal de «entrada» que influye ostensiblemente sobre el estado de la estrella maciza.

Tienen ciertas «entradas» tales cuerpos celestes como los planetas y cometas. Para los planetas es, por ejemplo, la influencia de la actividad solar, y para los cometas, la de la radiación térmica y luminosa del Sol, el viento solar, así como la atracción de los planetas gigantes.

Pero al estudiar el Sol, los astrónomos modernos tienen prácticamente sólo una posibilidad real: registrar los fenómenos que suceden en sus capas exteriores. Son precisamente las «salidas» de la caja negra solar.

No creas a tus propios ojos

Otra dificultad que enfrentan los investigadores del Universo al buscar nuevos hechos es característica no sólo para la astronomía, sino para

tales ciencias como, digamos, la física o las matemáticas. Se trata de la correlación entre nuestras ideas evidentes y la realidad.

Toda la experiencia del conocimiento de la naturaleza y, en particular, la historia de la astronomía, demuestra convincentemente que la «evidencia» es un consejero bastante inseguro para resolver problemas científicos. Por ejemplo, los filósofos de la antigüedad razonaban de la manera siguiente. Imaginémonos que el Universo tiene límite y el hombre lo ha alcanzado. Sin embargo, nada más extirar una mano, ésta quedará fuera de los límites del Universo. Pero con este hecho los marcos del mundo material se extenderán a cierta distancia más. Entonces se podrá aproximarse a un límite nuevo, repitiendo esta operación una vez más. Y así infinitamente. Por tanto, el Universo es infinito.

«Ningún extremo del Universo tiene fin, de lo contrario obligatoriamente tendría bordes» —escribió Lucrecio Kar en su poema «Sobre la naturaleza de las cosas».

Pero, lastimadamente, semejantes razonamientos no pueden servir de base para unas conclusiones científicas serias. No somos capaces de imaginarnos muchas cosas, pero esto por sí mismo no demuestra nada. El razonamiento de Lucrecio, pese a que exteriormente es lógico, en realidad se apoya precisamente en nuestras nociones terrestres comunes, suponiendo calladamente que son justas por doquier y siempre.

Basta con recordar aquellas objeciones que provocó en su tiempo la idea de un viaje circunterrestre propuesta por Magallanes. Sus adversarios apelaban precisamente a la evidencia. «¿Acaso se puede —exclamaban ellos— regresar a un mismo punto avanzando constantemente en línea recta en una dirección?» La posibilidad de tal resultado contradecía a las nociones usuales

aceptadas por todos. Pero, como se sabe, la realidad confirmó las suposiciones de Magallanes.

Unas objeciones análogas encontró la idea de los antípodas: si la Tierra es esférica, ¿cómo puede la gente vivir en su lado opuesto? Es que tienen que andar cabeza abajo . . .

Haciendo las observaciones astronómicas, la evidencia falla a cada paso. Diariamente vemos, por ejemplo, que el Sol de día, y la Luna y las estrellas de noche se trasladan por el firmamento de este a oeste. Nos parece visualmente que la Tierra está inmóvil, mientras que los astros giran alrededor de ella. Así pensaba la gente en la antigüedad, tomando ese movimiento aparente por real. Ahora cualquier escolar sabe que el traslado diario visible de los astros no es sino el reflejo de la rotación propia de la Tierra.

Son bastante complicados también los desplazamientos visibles de los planetas entre los astros, que suceden durante largos lapsos de tiempo. Los planetas ora se mueven de oeste a este, ora se paran de repente y empiezan el movimiento en dirección opuesta, hacia el oeste. Y luego, trazando en el firmamento un lazo peculiar, se lanzan de nuevo hacia el oriente.

En realidad, el movimiento en zigzag de los planetas es un movimiento aparente, ilusorio. Surge a causa de que observamos los planetas desde la Tierra que gira alrededor del Sol. Copérnico no sólo comprendió la naturaleza de este fenómeno, sino que introdujo en las ciencias naturales un principio metodológico importantísimo: el mundo puede ser diferente de lo que observamos directamente. Por eso, la tarea de la ciencia consiste en aclarar la verdadera esencia de los fenómenos escondida detrás de su apariencia exterior.

Este principio no sólo sirvió de base al heliocentrismo elaborado por Copérnico, sino de hecho

se hizo el fundamento de todas las ciencias naturales modernas.

Un ejemplo más que ilustra con evidencia el principio de Copérnico. El Sol en el firmamento nos parece un disco relativamente pequeño, casi igual al de la Luna. No obstante, es sólo una ilusión, el resultado de que el Sol está situado a una distancia 400 veces mayor que nuestro astro nocturno. Si observáramos el Sol desde la órbita de Plutón, el planeta más lejano del sistema solar, nos parecería un punto.

¿Y las estrellas? Parecen puntos hasta al observarlas en los telescopios más potentes. Y hay entre

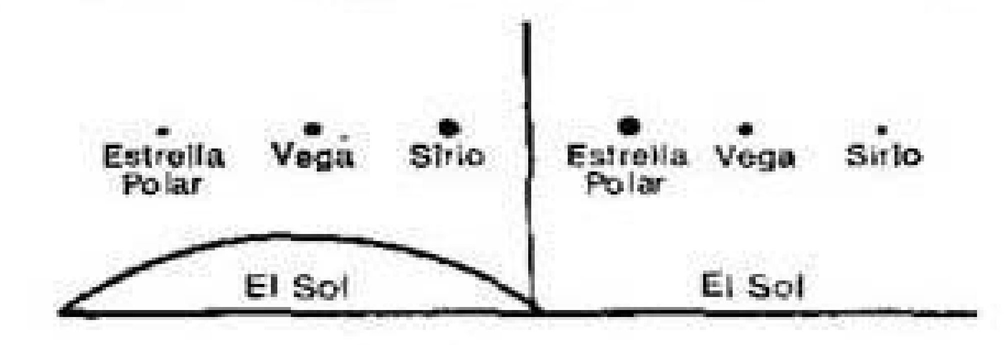


Fig. 1. Luminosidad visible de las estrellas en función de la distancia.

ellas gigantes el tamaño de las cuales es millones y miles de millones de veces mayor que el del Sol. Todo reside en las enormes distancias.

Las distancias aportan sus correcciones también en las luminosidades de las estrellas observadas por nosotros. Unas estrellas parecen más luminosas, otras menos. Pero este hecho por sí no dice nada sobre la cantidad de luz que realmente emiten. Citemos un ejemplo. Aquí tenemos cuatro estrellas conocidas por todos: el Sol, nuestra estrella más luminosa, Sirio, la estrella más brillante del cielo nocturno, Vega de la constelación de Lira (4 veces más débil que Sirio) y la estrella Polar, la más débil de estos cuatro astros (6 veces más débil que Vega).

Pero si pudiéramos situar estas cuatro estrellas a una distancia igual de la Tierra, tendríamos que hacer la total «revisión de los valores». El primer lugar lo ocuparía la estrella Polar, Vega y Sirio se cambiarían de lugar, y el Sol se quedaría atrás . . .

Pero en general, el aspecto exterior de un astro puede ser bastante ilusivo. He aquí la Luna. De antaño los poetas llaman plateada a nuestra compañera cósmica. En las noches claras, en el período de plenilunio, los objetos terrestres hacen a la luz de la Luna unas sombras bien definidas . . .

En realidad la superficie lunar refleja tan sólo un siete por ciento de la luz solar que incide en ella.

En las condiciones corrientes de la Tierra, llamamos negro o por lo menos gris oscuro al objeto que refleja menos de una décima parte de los rayos luminosos.

Y realmente, la superficie lunar es obscura. Lo atestiguan las imágenes de televisión transmitidas de la Luna por las estaciones automáticas soviéticas y norteamericanas. Lo confirman también las observaciones de los astronautas norteamericanos.

Es más, a decir verdad, no todas las rocas lunares son negras. Hay amarillas y marrones. Además, el color de la superficie lunar depende mucho del ángulo de caída de los rayos solares. Dicho a propósito, el color de la Luna, medido objetivamente, es amarillo oscuro.

Con todo esto, ¿por qué la Luna en el cielo terrestre nos parece un astro brillante? Sólo por contraste con el fondo negro del cielo nocturno que la rodea . . .

Una ilusión astronómica más. Cada uno, por supuesto, observó más de una vez en el cielo la bella Venus, «estrella» matinal y vespertina.

Como un punto muy luminoso se ve ella a la salida o la puesta del Sol... Pero miremos Venus con ayuda de un telescopio. Las más de las veces veremos una hoz parecida a la de la luna nueva...

Pero no puede ser de otra manera. Es que en el período de su visibilidad Venus se sitúa fuera de la línea que une la Tierra con nuestro astro

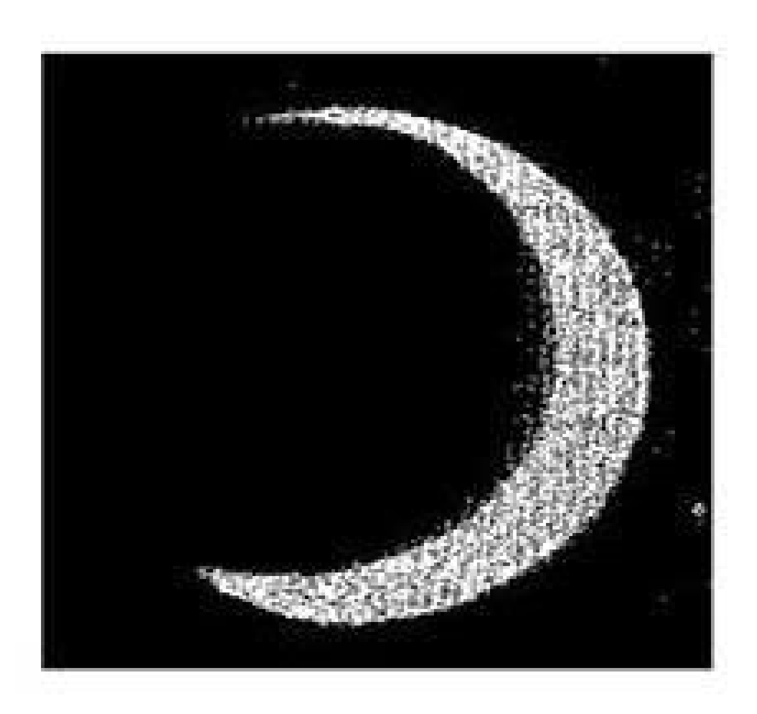


Fig. 2. Fotografía del planeta Venus

diurno. Por eso no podemos ver, de ninguna manera, toda la mitad del planeta iluminada por el Sol. Esto será posible sólo cuando Venus se halle al otro lado del Sol. Pero entonces se pierde en sus rayos brillantes y no la podemos observar por completo.

Venus nos parece semejante a una estrella sólo gracias al hecho de que nuestro ojo, debido a la gran distancia, no es capaz de percibir el contorno verdadero de la hoz de Venus.

La ilusión óptica puede surgir también durante las observaciones telescópicas. Uno de los ejemplos más brillantes es la célebre historia del descu-

brimiento de los canales marcianos. En 1877, durante una aproximación regular de Marte con la Tierra, el astrónomo italiano Schiaparelli, enfocando su telescopio en Marte, descubrió en la superficie de ese planeta una red fina de líneas que la atravesaban en diferentes direcciones. Así nació el enigma de los canales marcianos, que generó una multitud de hipótesis fantásticas sobre una alta civilización que supuestamente existiría en el misterioso planeta rojizo.

Sin embargo, muchos astrónomos afirmaban que en Marte no hay canales, que estos famosos canales no eran sino una ilusión óptica que surge durante las observaciones telescópicas. En realidad, decían ellos, en la superficie del planeta hay una gran cantidad de detalles aislados. Pero gracias a la enorme distancia, estos se unen para nuestro ojo en líneas contínuas . . .

Algo parecido observamos al mirar la pantalla de un televisor. Como se sabe, la imagen de televisión consta de varios centenares de líneas que dibuja, una tras otra, el rayo electrónico. Si se aproxima a un televisor, sobre todo a uno de pantalla grande, estas líneas se ven claramente. Pero apenas se aleja de la pantalla a una distancia suficiente, nuestro ojo deja de percibir las líneas aisladas: se unen en una imagen continua, sin interrupción.

Tratando de demostrar que los canales marcianos es una ilusión óptica, algunos científicos realizaron experimentos curiosos. Reunían en un aula lo suficientemente grande a gente que no oyó nada ni de Marte, ni del problema de los canales marcianos, y colocaban ante ellos en una pared unos dibujos especiales, en los cuales estaban esparcidos diferentes manchas y puntos. Luego se pedía a los presentes copiar esas imágenes.

Los resultados de semejantes experimentos fueron bastante evidentes. Las personas someti-

das a la prueba que estaban sentadas en las primeras filas y veían bien el original, lo reproducían con bastante exactitud sin añadir nada. Pero quienes estaban más lejos, dibujaban líneas que no existían en el original; las dibujaban porque no podían distinguir bien claro, siendo grande la distancia, los detalles aislados que les parecían líneas continuas.

El tiempo demostró que los resultados de estos experimentos reflejaban auténticamente la posición verdadera de las cosas. Los artefactos cósmicos que transmitieron las imágenes de televisión de la superficie marciana desde una distancia corta, no descubrieron canales en ese planeta. Y precisamente en aquellos lugares donde en las imágenes astronómicas corrientes de Marte se veían «canales» en la superficie del planeta, habían guirnaldas de pequeños cráteres y otros detalles menudos.

Frecuentemente durante las investigaciones astronómicas surgen indeterminaciones en relación con el hecho de que no siempre ni mucho menos se logra determinar con seguridad las distancias hasta unos u otros objetos cósmicos. Los objetos ubicados en un mismo lugar de la esfera celeste pueden hallarse en realidad a distancias sensiblemente diferentes de la Tierra y, por consiguiente, unos de otros.

Hace unos años, los astrónomos norteamericanos comunicaron que habían descubierto en la parte central de nuestro sistema estelar de la Galaxia concentraciones densas aisladas de gas. El carácter del movimiento de esas concentraciones podría interpretarse como el testimonio de que en el centro de la Galaxia se encuentra un cuerpo macizo compacto. No obstante, las observaciones siguientes, realizadas con el radiotelescopio soviético más grande RATAN-600, demostraron que las concentraciones susodichas más bien

no pertenecen a nuestra Galaxia, sino se proyectan casualmente sobre su parte central.

Hay una circunstancia más capaz de provocar indeterminaciones: diferentes procesos físicos en el cosmos pueden generar emisiones electromagnéticas que poseen aproximadamente propiedades iguales.

Posiblemente, podrían citarse muchos ejemplos y consideraciones más que muestran que los investigadores del Universo no tienen derecho ni dar crédito a las impresiones directas, ni hacer unas conclusiones precipitadas. Sobre todo en los casos cuando se estudian los procesos cósmicos complicados y confusos.

Es que entre el proceso físico que transcurre en un punto del Universo y las conclusiones de los científicos que observan ese proceso desde la Tierra hay una cadena de muchos eslabones. Y al pasar de cada uno de ellos al siguiente son posibles inexactitudes y deducciones erróneas. Pero no existen posibilidades de comprobar algo directamente, como se hace, digamos, en la física o biología.

Además, la indicación de cualquier instrumento de medición utilizado en las investigaciones astronómicas, sea la declinación de una aguja o el ennegrecimiento de una placa fotográfica, no es por sí un hecho científico. Para que la indicación de un instrumento sea tal hecho, debe interpretarse de la manera adecuada. Pero tal interpretación puede realizarse sólo dentro de los límites de una teoría científica determinada.

«Jamás el experimento tiene el carácter de un hecho simple que puede constatarse —subrayaba el físico célebre Louis de Broglie—. La exposición de ese resultado siempre contiene cierta cantidad de interpretación, por lo tanto, siempre se mezclan al hecho las nociones teóricas».

Si en alguna esfera de la ciencia hay en el mo-

mento dado concepciones teóricas de competencia, los mismos datos de observación o de experimento pueden obtener, desde el punto de vista de dichas concepciones, interpretaciones completamente diferentes. Para que las conclusiones sobre la naturaleza de uno u otro fenómeno cósmico tengan un grado suficiente de seguridad, es necesario examinar ese fenómeno desde diferentes puntos de vista, estudiarlo con métodos independientes, comparando entre sí los resultados obtenidos.

Por lo demás, todo esto concierne, por supuesto, no sólo a la astronomía, sino a otras ciencias cualesquiera. La única diferencia consiste en que para el astrónomo ese problema tiene, quizás, una importancia especial. Es que durante siglos el instrumento principal de investigación del firmamento fue el ojo del observador. Fue la fuente de todos los datos, y todo dependía de si se le creía sin reserva o se trataba la información obtenida con ayuda de éste de una manera lo suficientemente crítica.

También los astrónomos se equivocan

A los astrónomos les estorba evaluar bien los hechos y hacer, basándose en ellos unas conclusiones correctas, no sólo la confianza humana en la evidencia, sino a veces los errores más simples. Lastimadamente, ni una ciencia, incluso tan precisa como las matemáticas, no puede pasar sin errores. Las faltas enojosas y erratas inadvertidas se revelan con el tiempo casi en cada obra científica. Dicen que un científico se propuso la tarea de sumar los errores cometidos por los autores de decenas de libros matemáticos. Escribió con respecto a esto una obra seria, pero, como se reveló más tarde, él mismo cayó víctima de varios centenares de errores.

Es más, los errores pueden ser distintos. A veces son el resultado de una negligencia, pero en la mayoría de los casos, son debidos a una limitación de los conocimientos, al estudio impreciso de una u otra cuestión. Hay también errores inesperados, difíciles de prever con anticipación, y que no es tan fácil descubrirlos.

Además, los errores, si se detectan a tiempo y se llega a comprender las causas, también son sentenciosos...

Hace unos años el mundo astronómico recorrió una noticia curiosa: los científicos franceses en el observatorio de Alta Provenza descubrieron en el espectro de la estrella enana HD 117042 las líneas de emisión de potasio neutro... Anteriormente nadie había observado potasio en los espectros de estrellas semejantes. En los espectrogramas siguientes de la misma estrella no se repetía nada semejante.

Sin embargo, la «ráfaga de potasio» misteriosa fue registrada dentro de dos años en una estrella enana más, la HD 88230.

Los astrónomos intrigados comenzaron las búsquedas sistemáticas. Pero, sin éxito. Quizás se daría por terminado el asunto si en 1965 no se revelara una ráfaga de potasio más en la tercera estrella.

El aire holía a sensación. Es que esta vez se trataba de una estrella, cuya temperatura de la superficie constituía alrededor de 12 mil grados. ¿Cómo podía conservarse el potasio en estado neutro a una temperatura tan enorme?

Parecía enigmático el hecho de que la ráfaga de potasio se observó en cada una de las tres estrellas sólo una vez. En los espectrogramas obtenidos al pasar tan sólo unas horas, no había huella alguna del potasio misterioso. Pero ¿cómo pudo variar la composición de la atmósfera de la estrella durante un tiempo tan breve? Más aun que la

línea del potasio durante la «ráfaga» era bastante ancha e intensa.

Pero de pronto tres astrónomos californianos comunicaron que habían hallado una solución completamente inesperada del problema. Las líneas misteriosas del potasio en los espectrogramas —afirmaban ellos— no son ningunos «misterios» e «ilusiones fotográficas» como en las fotos de los famosos «platos volantes», sino las líneas bien honestas de un potasio absolutamente real. Mas este potasio se encontraba no en las estrellas lejanas, sino muy cerca, en el local del propio observatorio, a través del cual pasaba el rayo de luz mandado por la estrella. Y formaba parte no de la composición de las atmósferas estelares, sino de la composición de un fósforo corriente. Efectivamente, en cuanto se encendía durante las observaciones cerca del telescopio un fósforo, en el espectrograma aparecía potasio. Los científicos estadounidenses lo comprobaron por múltiples investigaciones. Así en la historia de la astronomía apareció la «hipótesis de los fósforos».

¿Tal vez los investigadores californianos también se equivocan? Pues de los tres investigadores que registraron las misteriosas «ráfagas de potasio», sólo dos eran fumadores...

Un ejemplo más. Estudiando por métodos espectrales la composición química de Titán, el satélite de Saturno, que es el único, entre los satélites, en el sistema solar qu› posee capa gaseosa, los astrónomos llegaron a la conclusión de que se compone principalmente de metano. Basándose en esto, hasta se expresaban unas suposiciones atrevidas sobre la posibilidad de existencia de vida orgánica en Titán.

No obstante, los instrumentos instalados a bordo de la estación automática interplanetaria «Voyager-1» que estuvo en la zona de Saturno en

noviembre de 1980, mostraron algo diferente. Resultó que el 93% de la atmósfera del Titán lo constituye el nitrógeno, mientras que el contenido de metano no sobrepasa el 1%.

¿Cómo pudieron equivocarse tanto los astrónomos? Un chasco malicioso les dió a los científicos la composición de la atmósfera del Titán. Aunque el diámetro del Titán mide aproximadamente tan sólo 5 mil kilómetros, es decir, 2 1/2 veces menos que el diámetro de la Tierra, el espesor de su atmósfera excede casi 10 veces el espesor de la capa atmosférica de nuestro planeta. Y el metano, como se ha revelado, está concentrado principalmente en sus capas más altas. Precisamente esta «máscara de metano» ocultaba la posición verdadera de las cosas, creando una impresión errónea sobre la composición de toda la capa atmosférica.

¿Contrariamente al sentido común?

Hasta ahora hemos hablado de la evidencia en el sentido más simple y directo de esta palabra: «no creas a tus propios ojos», o más exactamente, «revisa y vuelve a revisar todo lo que ves». Pero con esto no se agota el problema de la evidencia en la ciencia. Sí, tiene otro lado. ¿Es la evidencia una condición imprescindible de la justeza de una u otra conclusión científica? Con otras palabras, si una u otra tesis científica refleja justamente el mundo real, ¿quiero decir esto que podemos imaginarnos claramente todo lo que vincula con ésta de tal manera que estas nociones no sean contrarias a nuestro sentido común?

Ante todo, ¿qué quiere decir «sentido común»? Ya hemos dicho que el mundo real siempre es más rico y variable que nuestras nociones científicas de él. Por mucho que avancemos en nuestras investigaciones, nuestros conocimientos siempre

tendrán ciertas lagunas. Todas las teorías científicas, como ya hemos señalado, tienen unos límites determinados de aplicabilidad. Pero generalmente no se sabe de antemano por donde pasan precisamente estos límites. Es muy natural que las tentativas de aplicar las nociones existentes más allá de los límites de su aplicabilidad conducen inevitablemente a resultados erróneos. Sin embargo, estos resultados se toman hasta cierto tiempo por la verdad. Así nacen los errores.

Precisamente éste es el «sentido común» de una época histórica dada: «conocimientos más errores, tomados por conocimientos».

Y tales errores, por paradójico que sea, son no sólo inevitables, sino imprescindibles. Es difícil valerse de un conocimiento que tiene lagunas evidentes, no ofrece un cuadro íntegro de los fenómenos que se estudian. Estas lagunas se rellenan, hasta cierto tiempo, por los errores.

De esta manera, el equívoco es el «conocimiento temporal» peculiar, o más exactamente, «la ignorancia tomada por conocimiento».

Claro está que debe diferenciarse el sentido común comprendido usualmente como la generalización de la experiencia práctica de la humanidad, y el sentido común que se determina por el nivel de conocimientos científicos.

¿De qué se componía, por ejemplo, el sentido común de la época cuando surgió y se estableció el primer sistema del mundo, el sistema de Aristóteles—Ptolomeo? ¿De qué disponía en aquel entonces la ciencia? De las observaciones de las estrellas fijas, la revolución diaria de la esfera celeste y los movimientos anuales en zigzag de los planetas. Esto era el conocimiento. Pero no alcanzaba para explicar las causas de lo observado y construir un cuadro del mundo lógicamente acabado.

Como resultado, el movimiento de los cuerpos

celestes visto desde la Tierra fue difundido ilegalmente y elevado al rango de la verdad universal. Así surgió uno de los errores más grandes y estables en la historia de la humanidad: la noción de la posición central de la Tierra en el Universo.

Pero con ayuda de este error se pudo construir un modelo lógico del mundo que no sólo explicaba desde el punto de vista único el carácter de los desplazamientos observados de los astros, sino permitía también calcular de antemano, con una precisión totalmente suficiente para aquellos tiempos, las posiciones futuras de los planetas entre las estrellas.

Como sabemos ahora, el sistema del mundo de Aristóteles. Ptolomeo y aquella correlación entre el conocimiento y el error que había determinado, fue sólo una de las etapas del conocimiento de la naturaleza. Pero el paso a la etapa siguiente de turno necesitó no sólo unos esfuerzos titánicos por parte de las mentes progresistas de la humanidad, sino la superacción de la resistencia más dura. Y no se trata en este caso de la oposición por parte de la iglesia, para la cual el sistema de Aristóteles —Ptolomeo fue aceptado como el cuadro único del mundo, sino de la resistencia por parte del sentido común de la época. Aquel mismo sentido común, que, elevando los errores comunes al rango del conocimiento, hace tomar el conocimiento nuevo por el error...

Pero a fin de cuentas, el conocimiento nuevo triunfa a pesar de todo. Como se sabe, al sistema de Aristóteles—Ptolomeo lo sustituyó la teoría de Copérnico. Con el error de antes, el geocentrismo, se acabó una vez y para siempre. Pero el sistema de Copérnico tuvo, a su vez, una serie de errores. Su autor consideraba que todos los planetas giran alrededor del Sol estrictamente por circunferencias y con velocidades angulares

constantes. Copérnico creía también que el Universo está limitado por una esfera de estrellas fijas.

El paso siguiento en el conocimiento del mundo fue el descubrimiento por Kepler de las leyes de resolución de los planetas alrededor del Sol. Kepler demostró que en realidad los planetas se mueven por elipses y con velocidad variable. Pero Kepler partía, buscando las causas de ese movimiento, del error difundido en aquel tiempo de que para mantener el movimiento uniforme rectilíneo es necesaria la acción constante de una fuerza. Y buscaba en el sistema solar la fuerza que «empuja» los planetas y no los deja parar.

Pronto se acabó también con este error: Galileo descubrió el principio de inercia y Newton, las leyes principales de movimiento y la ley de la gravitación universal. Estos descubrimientos no sólo aclararon definitivamente las leyes del sistema solar, sino que destruyeron las nociones de la esfera de estrellas fijas.

La física clásica llegó a la conclusión de que todos los cuerpos del Universo existen y se mueven en un espacio infinito e ilimitado.

Sin embargo, la física clásica de Newton trajo a su vez un nuevo error más grande: la firme convicción de que todos los fenómenos de la naturaleza se reducen, sin excepción alguna, a procesos puramente mecánicos. Ya no hablamos de tales errores «particulares» como «espacio absoluto», «tiempo absoluto», etc.

Todos los problemas del universo parecían, desde el punto de vista de la física clásica, bien claros y resueltos irreversible y definitivamente, como, además, casi todos los otros problemas. Pero también esta vez la claridad alcanzada resultó ilusiva, y la verdad, mucho más complicada de lo que se creía en los tiempos de Newton.

La teoría de la relatividad, descubierta por Einstein a principios del siglo presente, transformó por completo las nociones newtonianas del espacio y las propiedades geométricas del Universo, que ya se hicieron corrientes. Uno de los méritos principales de Einstein fue el descubrimiento del enlace orgánico profundo entre las propiedades de la materia y la geometría del espacio.

La nueva transformación consecutiva del sentido común de la ciencia fue reflejada justamente en forma poética:

Estaba el mundo por una oscuridad profunda envolvido.

¡Que venga luz! Y Newton ha aparecido.

Mas Lucifer no esperaba mucho la revancha:

Vino Einstein haciendo todo igual que antes.

Es curioso que el primero y el segundo dísticos pertenecen a diferentes autores y están escritos con un intervalo de alrededor de 200 años.

Por supuesto, aquí es justo únicamente que se tuvo que renunciar de las nociones clásicas del espacio. Pero esto no quiere decir en absoluto que la teoría de la relatividad hizo regresar la ciencia a los tiempos prenewtonianos, de Aristóteles. La física nueva ha sido un paso extremadamente importante hacia un comprendimiento aun más profundo de la constitución del mundo que nos rodea...

Este proceso del cambio del sentido común continúa hoy día y seguirá continuando en adelante... Porque también nuestro conocimiento moderno del Universo no es de ninguna manera la verdad en la instancia suprema.

Así, el sentido común en la ciencia es un fenómeno relativo, temporal, que corresponde al nivel de los conocimientos de la época dada. Por eso los científicos, luchando por un conocimiento del mundo cada vez más amplio, tienen que li-

brar una batalla inevitable también con las nociones usuales, el sentido común corriente.

En lo que se trata de la evidencia, cuanto más se desarrolla la ciencia, sobre todo la física y la astronomía, tanto en mayor grado nos negamos de todo lo que puede representarse visiblemente. Esto puede causar disgustos, hasta irritar, pero no hay otra salida.

¡Es extraño el mundo de la física moderna! Es un mundo nuevo, en el cual es muy difícil y hasta imposible imaginarse evidentemente muchas cosas, el mundo no sólo de la física, sino de la astronomía modernas. La ciencia ya ha pisado sus caminos tortuosos y escarpados.

Y siguiendo los nuevos descubrimientos sorprendentes, contra los cuales se subleva no pocas veces nuestro sentido común, ya que no empaten con las nociones corrientes, nunca debemos olvidar que cada sentido común incluye inevitablemente errores.

De teoría a teoría

Como ya hemos dicho, la aparición de hechos nuevos de principio, inexplicables dentro de los marcos de la teoría existente, conduce a la elaboración de una teoría más general que «absorbe» también las nociones anteriores.

Como señala el cosmólogo soviético A. L. Zelmánov, si en el proceso de conocimiento resulta que cierto grupo de leyes puede deducirse de las leyes más generales, esto no quiere decir de ninguna manera que las primeras se reducen totalmente a las segundas. Tienen su carácter específico. Con otras palabras, la «capacidad de deducción» no es todavía la simple «capacidad de reducción». La correlación entre las teorías particulares y generales es mucho más complicada.

Imaginémonos que tenemos dos teorías físicas, una de las cuales es particular y la otra es más general. Entonces la zona de aplicabilidad de la teoría particular se encuentra dentro de la zona de aplicabilidad de la general. Esas teorías tienen diferentes ecuaciones. El problema no solamente

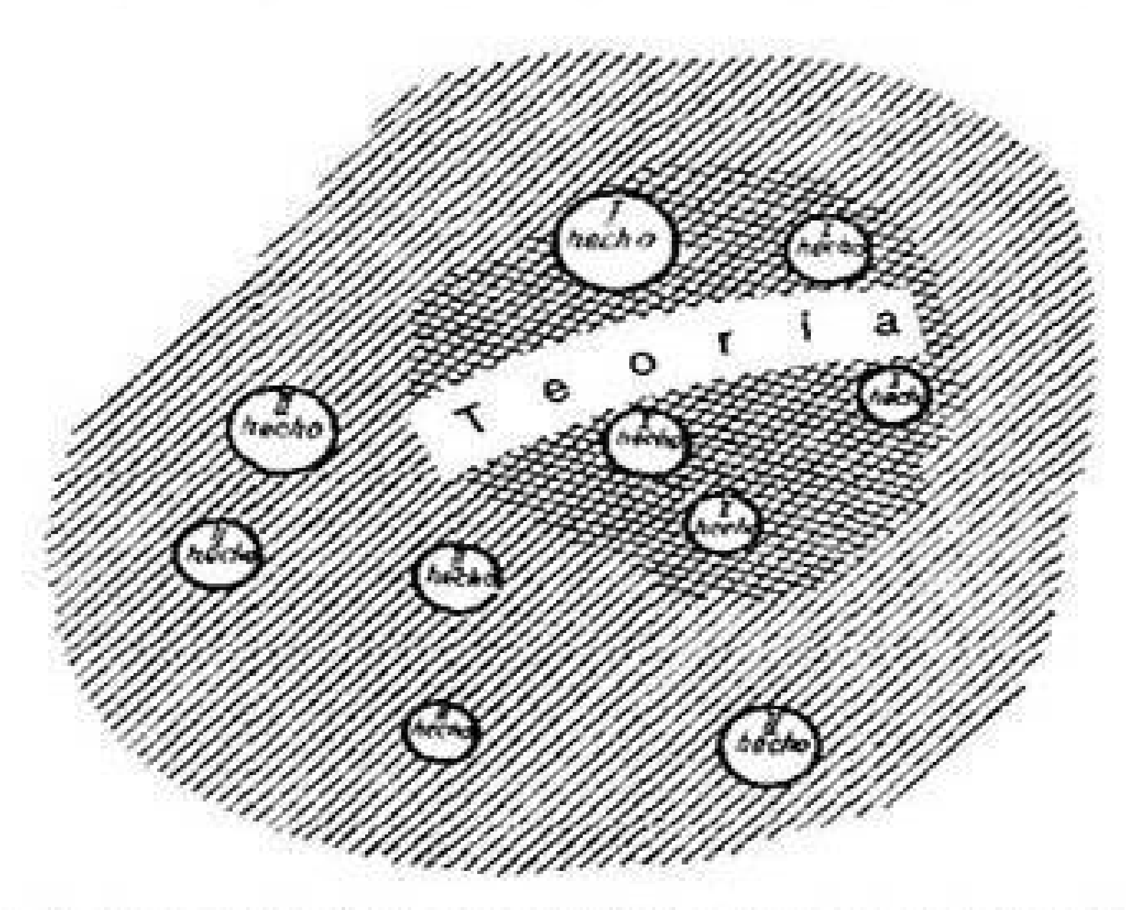


Fig. 3. Desarrollo del conocimiento de la teoría particular a la general

reside en que las ecuaciones de la teoría general son más exactas. Si se toman los conjuntos de todas las magnitudes físicas que participan en unas y otras ecuaciones, resultará que no son iguales. Hay ciertas magnitudes comunes para ambas teorías. Pero las hay también diferentes, en las ecuaciones de la teoría general son unas, y en las ecuaciones de la particular son otras.

La aparición de magnitudes nuevas en la teoría más general está vinculada con la aplicación de

nuevas nociones. Al pasar de la teoría particular a la general se aclara que las propias *nociones* de la teoría particular (precisamente las *nociones* y no las ecuaciones) son *aproximadas*, reflejan el mundo real sólo con un grado de exactitud determinado. Las nociones nuevas aplicadas en la teoría más general, son más exactas.

De esta manera, al pasar de la teoría particular a la general sucede lo que se llama transformación de nociones. Precisamente por esta razón las teorías particular y general difieren cualitativamente.

En este caso, ¿cómo una de ellas puede ser un caso particular de la otra, desprenderse de ella? Las ecuaciones de la teoría física más general contienen una constante universal más. Actualmente son conocidas tres constantes, a saber: la constante de la gravitación universal, el llamado cuanto de acción o la constante de Planck, y la velocidad de la luz (generalmente se utiliza la magnitud inversa a la velocidad de la luz).

Así, por ejemplo, las ecuaciones de la mecánica clásica de Newton no contienen en absoluto las constantes universales, mientras que las ecuaciones de la mecánica cuántica, cuyo caso particular es la mecánica newtoniana, contienen la constante de Planck.

Para obtener a partir de la teoría general la particular, es necesario transformar de una manera apropiada las ecuaciones y pasar al límite, tendiendo la constante «superflua» a cero. Las ecuaciones que obtendremos como resultado de tal transición límite, no serán equivalentes a las iniciales. Unas y otras difieren cualitativamente, las integran diferentes magnitudes, tienen diferente sentido.

Por eso, si tuviéramos sólo las ecuaciones de la teoría particular y quisiéramos realizar la operación inversa, es decir, a base de las ecuaciones

de la teoría particular reconstruir las ecuaciones de la general, no podríamos hacerlo, ya que es imposible adivinar por el aspecto de las ecuaciones de la teoría particular cuales deben ser las ecuaciones de la teoría general. Para esto son necesarias unas consideraciones de un orden más alto, por ejemplo, filosóficas. Esta afirmación, claro está, no debe comprenderse en el sentido de que de las consideraciones filosóficas pueden deducirse directamente las ecuaciones u obtenerse otros resultados físicos concretos. Mas los principios filosóficos ayudan a determinar las vías más perspectivas del desarrollo de la ciencia, realizar la elección entre diferentes variantes posibles de teorías nuevas.

La transición histórica de la teoría particular a la general es una revolución que necesita ideas nuevas de principio, a veces «locas», la elaboración de nociones nuevas.

En calidad de ejemplo pueden citarse la teoría newtoniana de atracción y la teoría general de la relatividad. La primera opera con el espacio euclidiano y el tiempo independiente de éste; la segunda examina el continuo de espacio y tiempo que posee propiedades no euclidianas. El paso a estas nociones nuevas de principio ha sido un avance revolucionario en la ciencia sobre la atracción.

De esta manera, las teorías particular y más general son cualitativamente diferentes. Y sería más exacto llamar la teoría particular no caso particular, sino caso límite de la teoría general.

CAPÍTULO II

La familia del Sol

La tierra y el péndulo

La historia de la ciencia conoce no pocos problemas, cuya solución necesitó un trabajo secular de las mentes avanzadas de la humanidad y una larga lucha con nociones erróneas. Se lograba la claridad gracias a unos esfuerzos increíbles. Pero en muchos casos, más tarde, se pudo obtener unos resultados idénticos o por métodos más simples, o en calidad de unas consecuencias bastante elementales de los descubrimientos y logros más modernos.

A tales problemas pertenece también el de la rotación de la Tierra alrededor del propio eje. El hecho de que la gente no pudo demostrar durante largo tiempo que vive en un planeta giratorio, no es tan trivial como puede parecer a primera vista.

Hablando en general, en los sistemas giratorios pueden revelarse aceleraciones enlazadas con la rotación (las llamadas aceleraciones de Coriolis). Precisamente esas aceleraciones provocan, por ejemplo, la socavación de las riberas derechas de los ríos en el hemisferio boreal de la Tierra y las izquierdas, en el austral.

Pero, primero, las aceleraciones de Coriolis se manifiestan sólo durante la traslación de los cuerpos, y segundo, sirven sólo de un testimonio secundario de la rotación de nuestro planeta.

Son más convincentes los fenómenos que permiten descubrir no las aceleraciones, sino el propio hecho de la rotación del planeta. El indicio indiscutible de la rotación diaria de la Tierra podría ser el movimiento diario visible del Sol en el firmamento, así como el relevo del día y la noche. Pero, lastimadamente, un cuadro idéntico observaríamos también en el caso si la Tierra fuera inmóvil y los astros nocturnos, incluso el Sol, la «circunvolaran».

Se puede juzgar sobre la rotación de otros cuerpos celestes a base de las observaciones directas. Así, la rotación del Sol puede descubrirse, por ejemplo, observando el desplazamiento de las manchas solares, la rotación de Marte, por el desplazamiento de los detalles vistos sobre su superficie. Pero la gente no pudo observar su propio planeta, la Tierra, desde fuera de ésta.

Un testimonio claro y convincente de la rotación de la Tierra fue el experimento de Foucault con el péndulo oscilante.

El péndulo, es decir, un peso suspendido de un hilo, es uno de los instrumentos más simples y a la vez más admirables. La esencia física del experimento con el péndulo consiste en lo siguiente. Las fuerzas que actúan sobre el péndulo oscilante, la fuerza de atracción terrestre y la fuerza de tensión del hilo, se hallan en un mismo plano, en el plano de su oscilación. Por eso el péndulo libremente suspendido, al ponerlo en movimiento, siempre seguirá oscilando en un plano. Los físicos formulan esta propiedad del péndulo así: «El plano de oscilaciones del péndulo conserva una posición invariable en el espacio».

La comprobación de la rotación de la Tierra con ayuda de un péndulo oscilante es conocida por todos y no la haremos recordar. Señalemos solamente que este experimento tiene una insuficiencia importante: para revelar con seguridad

el giro del plano de oscilación del péndulo, debido a la rotación de la Tierra, se necesita un tiempo bastante largo.

A principios de los años cincuenta, el ingeniero soviético Poshejónov propuso un instrumento original para comprobar la rotación diaria de nuestro planeta. En esencia es el mismo *péndulo*, pero de tipo especial, y la propia comprobación se funda en un principio completamente diferente.

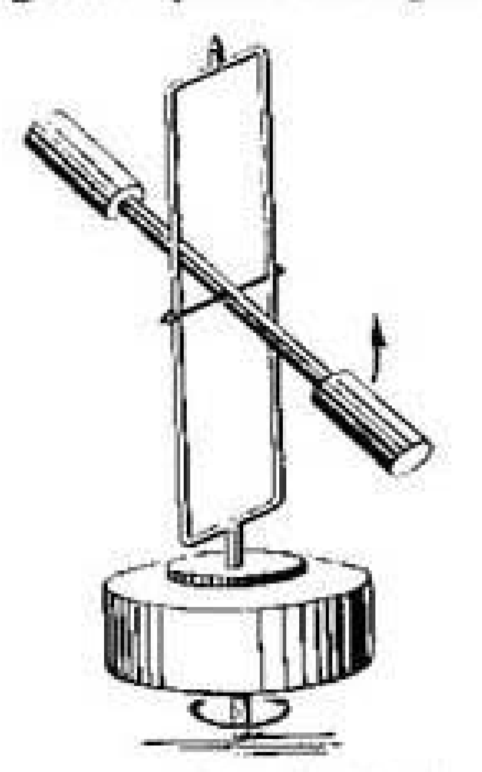


Fig. 4. Péndulo de Poshejónov

Imagínense un bastidor situado verticalmente, montado sobre un soporte y capaz de girar con respecto a éste alrededor del eje vertical. En el centro del bastidor, en un eje horizontal, está sujetada una varilla con pequeñas pesas en los extremos, que gira libremente. Aquí está todo el instrumento. ¿Pero cómo funciona? La acción de este péndulo peculiar se basa en el principio de conservación del momento de la cantidad de movimiento.

El momento de la cantidad de movimiento es el producto de la masa del cuerpo dado m por su velocidad lineal V y la distancia R del eje de rotación. Pero la velocidad lineal es igual al producto de R por la velocidad angular ω ($V = R\omega$).

Así, $N = m\omega R^2$, siendo m una magnitud constante.

Ahora supongamos que el radio R disminuye, es decir, el cuerpo se aproxima al eje de rotación.

Como m es constante, entonces, para que no varíe el producto ωR^2, debe aumentar respectivamente ω.

Con otras palabras, al aproximarse las masas giratorias al eje de rotación la velocidad angular aumenta.

Generalmente en calidad de ejemplo se cita a un deportista de patinaje artístico. Lanzando las manos hacia los lados o apretándolas al pecho, éste regula la velocidad de su rotación. Lo mismo puede hacer un paracaidista durante el salto retardado, y un cosmonauta que flota libremente en estado de ingravidez en la cabina de la nave o en el cosmos abierto.

Volvamos a nuestro péndulo. Coloquémoslo en una plataforma inmóvil y hagamos girar a la varilla central alrededor de su eje horizontal. La varilla seguirá girando hasta que se pare debido a la fricción en los cojinetes. Esto es sobre una plataforma inmóvil.

Ahora supongamos que el soporte gira uniformemente alrededor del eje vertical, es decir, el péndulo se halla en el centro de una plataforma giratoria. En este caso el cuadro variará esencialmente.

Mientras que la varilla ocupa una posición horizontal, es decir, las pesas están lejos del eje vertical, el péndulo gira junto con la plataforma. Pero en el momento en que la varilla ocupa la posición vertical y las pesas en sus extremos se encuentran sobre el eje de rotación del soporte, la velocidad angular de rotación del bastidor con respecto al eje vertical aumenta. El bastidor junto con la varilla debe hacer un «tirón» adelantando la rotación del soporte.

De esta manera, en caso de hallarse nuestro péndulo sobre una plataforma giratoria, se observará el giro paulatino del plano de rotación de la varilla. Es fácil comprender que según este

principio se puede juzgar sobre la rotación del soporte hasta sin observarlo directamente.

Esto quiere decir que el péndulo descrito por nosotros puede aplicarse con éxito también para descubrir la rotación de la Tierra. El efecto visible de desplazamiento se alcanzará mucho más rápido que para el *péndulo* de Foucault.

Hace pocos años, el péndulo en cuestión fue construido e instalado en el foyer del Planetario de Moscú. Funcionó sin fallos de acuerdo con los razonamientos más arriba expuestos.

Al parecer, el método más seguro de conocer lo mejor posible la Tierra es visitar cada rincón de la misma, penetrar en su interior, considerar todos los fenómenos que suceden en su superficie. Los científicos obran así.

Pero en una serie de casos, la solución de los problemas terrestres se facilita mucho si se «desprende» de nuestro planeta y se sale al cosmos. Si se reflexiona, no hay nada sorprendente en esto. En general, en las ciencias naturales actúa una ley no escrita: si se quiere estudiar algún objeto, hay que ver no sólo ese objeto por sí mismo, sino abarcar obligatoriamente una esfera de fenómenos más amplia. En particular, la salida al cosmos nos da un testimonio muy convincente y a la vez patente de la rotación de nuestro planeta. Se trata del movimiento de los satélites artificiales de la Tierra.

Sobre un satélite artificial, que se mueve en una órbita circunterrestre, actúa realmente sólo la fuerza de la atracción terrestre que se encuentra en el plano de esta órbita (no tomaremos ahora en cuenta las desviaciones vinculadas con el hecho de que la Tierra no es una esfera ideal homogénea, y algunos otros efectos finos). Gracias a esto, el plano de la órbita del satélite no cambia su posición respecto a las estrellas durante unos lapsos cortos de tiempo. Si el globo terrá-

queo no girara alrededor de su eje, el satélite pasaría en cada vuelta consiguiente sobre unos mismos puntos de la superficie terrestre. Pero en virtud de que la Tierra gira de oeste a este, el recorrido del satélite, es decir, la proyección de su movimiento sobre la superficie de la Tierra, se desplaza continuamente en dirección hacia el oeste.

Como se sabe, un satélite artificial que se mueve a una altura del orden de 200...300 km, gasta en una vuelta completa alrededor de la Tierra cerca de 90 minutos, es decir, hora y media. Es fácil calcular que durante ese tiempo el globo terráqueo gira a 22°,5. La longitud de la circunferencia del ecuador terrestre constituye alrededor de 40 mil kilómetros. Así pues, el giro a 22°,5 corresponde aproximadamente a 2500 km. Por lo tanto, el satélite cruza en cada vuelta la línea del ecuador a 2500 km más hacia el oeste que durante la anterior. Aproximadamente dentro de un día, haciendo 16 vueltas alrededor de la Tierra, el satélite pasará sobre la región de lanzamiento.

Acordémonos que durante la realización del vuelo en grupo de las naves cósmicas soviéticas «Soyuz-6», «Soyuz-7» y «Soyuz-8» en el año 1969, cada nave siguiente arrancaba aproximadamente dentro de un día después que la anterior.

Bajo el cielo estrellado

¿Ha pensado Vd. por qué las estrellas no se ven en el cielo de día? Es que también de día el aire es tan transparente como de noche. La cosa reside en que de día la atmósfera dispersa la luz solar.

Imagínese que Vd. se encuentra de noche en una habitación bien iluminada. Los faroles brillantes que están afuera se ven bastante bien a través del vidrio de las ventanas. Pero es casi

imposible discernir los objetos poco iluminados. Pero basta con apagar la luz en la habitación, y el vidrio deja de ser obstáculo para nuestra visión.

Algo parecido sucede durante las observaciones del cielo: de día la atmósfera sobre nosotros está muy iluminada y a través de ella se ve el Sol, pero no puede pasar la luz débil de las estrellas lejanas. Pero una vez que el Sol se hunde debajo del horizonte y la luz solar (y junto con ésta también la luz dispersada por el aire) «se apaga», la atmósfera se hace «transparente» y se puede observar las estrellas.

En el cosmos ya es otra cosa. A medida que se eleva la nave cósmica, las capas densas de la atmósfera se quedan abajo y el cielo se obscurece poco a poco.

A una altura de alrededor de 200...300 km allá donde regularmente efectúan los vuelos las naves cósmicas pilotadas, el cielo es absolutamente negro. Es negro siempre, incluso cuando en su parte visible en el momento dado se halla el Sol.

«El cielo es de un color absolutamente negro. Las estrellas en este cielo parecen un poco más brillantes y se ven más claramente sobre el fondo de un cielo negro» —así describía sus impresiones cósmicas el primer cosmonauta Yu. A. Gagarin.

Pero de todas maneras también de a bordo de la nave cósmica se ven en el lado diurno del cielo no todas las estrellas ni mucho menos, sino las más brillantes. Al ojo le estorba la luz cegadora del Sol y la luz de la Tierra.

Si el cielo se mira desde la Tierra, veremos claramente que todas las estrellas centellean. Parece que ora se apagan, ora se encienden tornasolando con diferentes colores. Y cuanto más bajo sobre el horizonte se encuentra la estrella, tanto más fuerte es su centelleo.

El centelleo de las estrellas también se explica

por la existencia de atmósfera. La luz emitida por una estrella, antes de alcanzar nuestro ojo, pasa a través de la atmósfera. En ésta siempre hay masas de aire más caliente y más frío. De la temperatura del aire en una u otra zona depende su densidad. Pasando de una zona a otra, los rayos de luz experimentan refracción. Cambia la dirección de su difusión. Gracias a esto se concentran en ciertos lugares sobre la superficie terrestre, mientras que en otros resultan bastante raros. Estas zonas, debido al movimiento constante de las masas aéreas, siempre se mezclan, y el observador ve ora el aumento, ora la disminución del brillo de las estrellas. Pero como los diferentes rayos de color se refractan de una manera desigual, los momentos de aumento y disminución de diferentes colores llegan no simultáneamente.

Además, un papel importante en el centelleo de las estrellas pueden desempeñar otros efectos ópticos más complicados.

La presencia de capas calientes y frías de aire, los desplazamientos intensos de las masas aéreas se reflejan también en la calidad de las imágenes telescópicas.

¿Dónde las condiciones para las observaciones astronómicas son mejores: en las regiones montañosas o en una planicie, en la costa del mar o dentro del continente, en el bosque o el desierto? Y en general, ¿qué es mejor para los astrónomos: diez noches despejadas durante un mes o sólo una noche clara, pero tal cuando el aire es idealmente transparente y está tranquilo?

Esto es sólo una pequeña parte de los problemas que se tiene que resolver al eligir el lugar para la construcción de observatorios y la instalación de grandes telescopios. De los problemas semejantes se ocupa una rama especial de la ciencia, la astroclimatología.

Hace unos años en nuestro país fue construido el telescopio más grande del mundo de seis metros de diámetro del espejo. Es exactamente un metro más que el diámetro del espejo del famoso telescopio del Monte Palomares en Estados Unidos.

¿Qué significa un metro más para los astrónomos? Los marcos de la zona observada del Universo se ampliaron 1,2 veces, aproximadamente.

En relación con la construcción del nuevo telescopio, los científicos del Observatorio astronómico mayor de la Academia de Ciencias de la URSS en Púlkovo realizaron durante varios años investigaciones astroclimatológicas en diferentes regiones de la Unión Soviética, ante todo en las estepas de Kubán, en el Cáucaso, en Georgia y Armenia, en el Pamir y en las montañas de Tian-Shan, en el lago de Issyk-Kul y hasta en la región del Usuri. Como resultado de estas búsquedas fue eligida una de las regiones del Cáucaso del Norte, en el territorio de Stavropol. Allí se ha construido el observatorio para el gigante de seis metros.

Verdad que en el territorio de nuestro país hay lugares con condiciones astroclimáticas aun mejores: en el Asia Central y en el Pamir. Sin embargo, la construcción de un gran observatorio en estos lugares de difícil acceso estaría enlazada con enormes dificultades técnicas y gastos complementarios. Además, las regiones nombradas están alejadas de los grandes centros científicos.

Por supuesto, las mejores condiciones para las observaciones astronómicas son fuera de las capas densas de la atmósfera, en el cosmos. A propósito, las estrellas allí no centellean, sino arden con una luz fría y tranquila.

Las constelaciones acostumbradas lucen en el cosmos igual que en la Tierra. Las estrellas se

hallan a enormes distancias de nosotros, y el alejarse de la superficie terrestre a tan sólo unos centenares de kilómetros no puede variar nada en su disposición mutua visible. Hasta observando desde Plutón, las configuraciones de las constelaciones serían exactamente iguales.

Durante una vuelta, de a bordo de la nave cósmica que se mueve por una órbita circunterrestre, se puede ver, en principio, todas las constelaciones del cielo terrestre. Las observaciones de las estrellas desde el cosmos representa un interés doble: astronómico y de navegación. En particular, es muy importante observar la luz estelar no deformada por la atmósfera.

También tiene una grande importancia en el cosmos la navegación por las estrellas. Observando las estrellas «de referencia» eligidas de antemano, se puede no sólo orientar la nave, sino determinar su posición en el espacio.

Durante largo tiempo los astrónomos soñaban con observatorios futuros en la superficie de la Luna. Parecía que la total ausencia de atmósfera debe crear en el satélite natural de la Tierra unas condiciones ideales para las observaciones astronómicas tanto durante la noche lunar, como en las condiciones del día lunar.

Para estudiar las condiciones de las observaciones astronómicas en la Luna fueron realizadas investigaciones especiales. Con este propósito se dotó el laboratorio automático soviético móvil «Lunajod-2» de un instrumento especial: el fotómetro astronómico, diseñado y fabricado en el Observatorio astrofísico de Crimea de la AC de la URSS. El instrumento fue montado en el «Lunajod» de tal manera que su eje óptico siempre esté dirigido al cenit del cielo lunar.

Los resultados de las mediciones fueron un poco sorprendentes. Se aclaró que la luminiscencia del cielo en la Luna y en los rayos visibles, sobre

todo los ultravioleta, es ostensiblemente mayor de lo que se esperaba. El estudio de las características de esta luminiscencia ha mostrado que puede provocarse por las partículas de polvo lunar que se encuentra en el espacio circunlunar.

Con relación a esto fue expresada la suposición de que alrededor de la Luna existe un enjambre rarificado de partículas de polvo que se formó a consecuencia del bombardeo de la superficie lunar por meteoritos y micrometeoritos. Dichas partículas se mantienen a cierta altura sobre la superficie de la Luna por la acción de las fuerzas electrostáticas. Dispersan no sólo la luz solar, sino la luz de la Tierra. Es que en el cielo lunar nuestro planeta es un astro aproximadamente 40 veces más brillante que la Luna llena en el cielo de la Tierra.

La presencia del enjambre de polvo alrededor de la Luna puede reflejarse negativamente sobre la eficiencia de las observaciones astronómicas desde los futuros observatorios lunares.

Nuevos datos sobre el meteorito del Tunguska

Durante más de medio siglo la atención universal es atraída por un acontecimiento misterioso que tuvo lugar en Siberia en el verano de 1908. Se trata del célebre meteorito del Tunguska.

El día 30 de junio de 1908, al amanecer, la tranquilidad secular de la taigá siberiana fue perturbada de pronto por la aparición de un cuerpo de brillo deslumbrante que volaba por el cielo a gran velocidad. Eclipsando por varios segundos la luz solar y dejando tras de sí una huella de humo espeso, se ocultó detrás del horizonte. Dentro de un instante, cerca de la factoría de Vanovar ubicada en la región del río Podkámennaya Tunguska, se levantó una gigan-

tesca columna de llamas vista bien desde una distancia de hasta 450 km, se formó una enorme nube de humo. La catástrofe fue acompañada de explosiones ensordecedoras que se oían a 100 km. En un territorio enorme, igual que durante un terremoto fuerte, temblaba el suelo, vibraban los edificios, estrellaban los vidrios de las ventanas, tamboleaban los objetos colgantes. Los temblores del suelo fueron registrados por muchas estaciones sísmicas de la Tierra, y la onda de aire recorrió varias veces el planeta.

La primera expedición al lugar de la catástrofe del Tunguska fue organizada por la Academia de Ciencias de la URSS en el año 1927, sólo después de la Revolución de Octubre. En los años 1928...1930 fueron realizadas dos expediciones complementarias más, y en 1938 se hizo la aerofotografía de la región de la catástrofe, lastimadamente, muy incompleta.

Luego las investigaciones fueron interrumpidas por la Gran Guerra Patria, y la expedición del Tunguska de turno se efectuó sólo en 1958. No obstante, últimamente el lugar de la catástrofe del Tunguska fue visitado por varias expediciones de aficionados bien equipadas. Trabajó en ese lugar también una expedición compleja de la Academia de Ciencias de la URSS.

Ya durante las investigaciones iniciales se revelaron una serie de circunstancias misteriosas. En particular, no se halló ni un solo embudo que se forman ordinariamente al chocar contra la Tierra los objetos cósmicos, y ni un solo fragmento. El bosque resultó tumbado en un espacio enorme de decenas de kilómetros; la dirección de los troncos de los árboles que yacían sobre la tierra mostraba claramente la dirección hacia el centro de la explosión. Pero precisamente en el centro, donde, lógicamente, las destrucciones deberían ser máximas, los árboles permanecieron

de tal manera que causaba la impresión de que la onda aérea las embistió desde arriba.

Surgió la suposición de que la explosión del meteorito del Tunguska se produjo en el aire, a una altura considerable sobre la superficie de la Tierra. A juzgar por todo, esa explosión tuvo carácter puntual, es decir, sucedió instantáneamente, durante céntimas fracciones de segundo; de lo contrario, no se produciría la caída radial tan correcta del bosque. En relación con esto surgió una serie de hipótesis sobre la naturaleza del cuerpo enigmático, incluso bastante exóticas, hasta una hipótesis puramente fantástica sobre la avería de una nave cósmica procedente de una civilización extraterrestre que sufrió una catástrofe nuclear sobre la taigá del Tunguska.

Sin embargo, todas las suposiciones (se trata, naturalmente, de las hipótesis científicas) tropezaban con serias dificultades y ni una sola de ellas podía considerarse universalmente aceptada.

En el ejemplo del meteorito del Tunguska se sigue nítidamente una ley curiosa enlazada con el estudio de los fenómenos misteriosos de la naturaleza que durante largo tiempo permanecen sin hallar una explicación científica completa. Generalmente, buscando tal explicación, se trata de atraer para esto cada nuevo descubrimiento fundamental en la rama correspondiente de las ciencias naturales.

Así, con el descubrimiento de las anticorpúsculas y el desarrollo de la idea de la antimateria en la física de las corpúsculas elementales, se supuso que el meteorito del Tunguska representaba un pequeño trozo de antimateria que durante miles de millones de años volaba por el espacio cósmico y luego chocó con nuestro planeta. Como se sabe, el contacto de la materia con la antimateria conduce a su aniquilación: tanto la materia como la antimateria se convierten total-

mente en radiación electromagnética, liberando una cantidad colosal de energía. De esta manera los autores de la nueva hipótesis trataron de explicar los fenómenos destructores que acompañaron la catástrofe del Tunguska.

Verdad es que la suposición sobre la «antinaturaleza» del cuerpo del Tunguska no tuvo gran popularidad. En particular, fue difícil explicar cómo un «fragmento» de antimateria pudo conservarse durante largo tiempo sobrevolando el espacio cósmico. Es que en este caso tendría que chocar constantemente con numerosas partículas del medio interestelar e interplanetario, lo que conduciría inevitablemente a su rápida aniquilación.

Una tentativa más de explicar el fenómeno del Tunguska fue hecha siguiendo las «huellas» de otro descubrimiento más grande de la física de nuestro siglo: la creación de los láser o generadores cuánticos.

Se propuso una idea, de acuerdo con la cual todos los fenómenos acaecidos en 1908 en la taigá del Tunguska fueron provocados por el hecho de que en este momento un rayo potente de láser de procedencia desconocida dio una «cuchillada» a nuestro planeta... Sin embargo, tal explicación parecía tan fantástica que nadie la tomó en serio.

En los años más recientes fue hecha una tentativa más de enlazar la catástrofe del Tunguska con nuevas ideas físicas. Esta vez de «punto de partida» sirvió la hipótesis de «huecos negros» elaborada intensamente por los físicos y astrofísicos. El hueco negro es la materia comprimida hasta tal grado que se halla «cerrada» por las fuerzas de la propia gravitación. Tal objeto es capaz de sólo absorber la materia que lo rodea, pero no deja escapar afuera ni una sola partícula, ni radiación *). Partiendo de este hecho, los físicos

*) Se hablará más detalladamente sobre los huecos negros en el capítulo tres.

estadounidenses A. Jeckson y M. Ryan de la Universidad de Texas expresaron la hipótesis de que el meteorito del Tunguska fue en realidad... un pequeño hueco negro que penetró a gran velocidad en la atmósfera terrestre.

Pero los cálculos más exactos efectuados por los físicos en diferentes países han mostrado que el carácter de los fenómenos que se observarían al chocar la Tierra con un hueco negro no corresponde en absoluto a lo que realmente sucedió durante la caída del meteorito del Tunguska.

A la vez se efectuaban investigaciones científicas completamente serias del fenómeno siberiano de 1908.

Así, los científicos soviéticos realizaron en el Instituto de la física de la Tierra unos experimentos bastante interesantes al simular la explosión del meteorito del Tunguska. En una cámara especial fue instalada una maqueta del terreno de la región de catástrofe a la escala correspondiente, en la cual una multitud de alambres representaba los troncos de los árboles. Sobre esa maqueta se hacía explotar en diferentes puntos y a diferente altura pequeñas cargas de pólvoras acercándolas con diferentes velocidades bajo diferentes ángulos. En cada experimento se obtuvo su cuadro de caída del «bosque». En particular, en ciertas condiciones se logró obtener tal caída que coincidía con el cuadro de los árboles tumbados en el lugar de la catástrofe.

El análisis de los resultados obtenidos mostró que el cuerpo del Tunguska avanzaba con una velocidad de 30...50 km/s, y la explosión provocada por éste se produjo a una altura de 5 a 15 km. Esta fuerza era equivalente a una explosión de 20...40 megatoneladas de trilita. En lo que se refiere a las destrucciones que tuvieron lugar en la región de caída, todas ellas, por lo visto, fueron provocadas por las ondas de choque:

por la onda que llegó desde arriba del lugar de explosión y la onda reflejada por la superficie terrestre.

Una hipótesis interesante propuso el académico V. G. Fesénkov, conocido astrónomo y especialista en meteoritos soviético. Según la suposición del científico, nuestra Tierra chocó en el verano de 1908 con el núcleo glacial de un pequeño cometa. Como mostraron los cálculos realizados por el científico soviético K. P. Staniukóvich, los hielos fusibles de un cometa, una vez de entrar en la atmósfera terrestre con velocidad supersónica, al principio se evaporaron bastante lentamente. Pero luego (esto tuvo que suceder en las capas bajas densas del aire), cuando toda la masa del hielo se calentó en un grado suficiente, tuvo que convertirse momentáneamente en un coágulo gaseoso y evaporarse. Se produjo una explosión potente.

Los cálculos correspondientes mostraron que tal hipótesis es capaz de explicar de una manera satisfactoria todos los fenómenos que se observaban en el momento de la catástrofe del Tunguska y después de ésta. Pero para dar preferencia a una hipótesis semejante ante todas las demás, se necesitaban datos complementarios, tanto más, que en el año 1908 no se registró ningún cometa cerca del Sol. Por supuesto que un pequeño cometa pudo pasar inadvertido, pero de todas maneras, se necesitaban las confirmaciones independientes que apoyaran la versión sobre el cometa. Y se logró obtener tales confirmaciones.

Ya hace mucho los astrónomos notaron que hasta después de atravesar el cielo los bólidos brillantes que están enlazados con la invasión en la atmósfera de cuerpos cósmicos bastante grandes, las más de las veces, en la región donde se observó este fenómeno celeste tan impresionante (por el cielo vuela una bola deslumbradamen-

te brillante lanzando gotas de fuego), no se producía la caída de meteoritos. Esta circunstancia tuvo su confirmación debido a las observaciones realizadas últimamente por los astrónomos checos y norteamericanos que inventaron unas «redes de meteoritos» especiales para fotografiar sistemáticamente los bólidos.

De esta manera, viene a la mente la conclusión de que la mayoría de los cuerpos cósmicos que entran volando en la atmósfera terrestre, no alcanza la superficie del planeta. Entre tanto, los meteoritos de piedra o de hierro lo suficientemente grandes deberían caer sobre la tierra. Sólo este hecho hace pensar que tanto el cuerpo que provocó la catástrofe del Tunguska, como los cuerpos que las más de las veces crean el fenómeno de los bólidos, tienen una misma naturaleza física.

V. A. Bronstein, astrónomo moscovita, comparando hace poco los datos sobre 33 bólidos brillantes con el meteorito del Tunguska, llegó a la conclusión sobre la semejanza física del cuerpo del Tunguska y la masa principal de los grandes cuerpos meteoríticos que, entrando en la atmósfera terrestre del espacio interplanetario, provocan los fenómenos de los bólidos pero no alcanzan la superficie del planeta. Con otras palabras, todos esos cuerpos poseen una densidad y resistencia pequeñas y se descomponen fácilmente al atravesar la atmósfera...

En los últimos años se propuso una hipótesis más que como si representara el desarrollo siguiente de la idea del núcleo glacial de un cometa. Su autor es el académico G. I. Petrov, conocido científico soviético. Según sus cálculos, el cuerpo misterioso que había provocado la catástrofe del Tunguska representaba una gigantesca bola de nieve, un cuerpo con un núcleo muy mullido, constituido por pequeños cristales de hielo con

una masa de alrededor de 100 mil toneladas y un diámetro del orden de 300 m, cuya densidad media era decenas de veces menor que la del agua.

Al entrar volando en la atmósfera terrestre con una velocidad 100 veces mayor que la velocidad del sonido, la bola de nieve se calentó rápidamente y comenzó a evaporarse con intensidad. A la altura de unos kilómetros, los restos del cuerpo de nieve y los gases que se formaron debido a la evaporación y que volaban delante de éste, se ensancharon instantáneamente, lo que condujo a la formación de una onda de choque muy potente. Precisamente esta onda provocó la caída radial del bosque en un territorio de decenas de kilómetros de diámetro.

La hipótesis propuesta explica bien tanto la naturaleza física de la explosión aérea del meteorito del Tunguska como también la ausencia de embudos y fragmentos. A la vez hay que aceptar que los especialistas hasta ahora no tienen una opinión única con respecto a la naturaleza del fenómeno del Tunguska, y la catástrofe de 1908 en la región del río Podkámennaya Tunguska sigue siendo en muchos aspectos no aclarada.

Sólo una cosa no se pone en duda: la catástrofe del Tunguska es indiscutiblemente un fenómeno único de la naturaleza, y el interés permanente de los científicos está totalmente justificado. Y bien puede ser que, debido al estudio ulterior de este fenómeno sorprendente, la ciencia descubra algunas facetas nuevas, todavía desconocidas, de los procesos cósmicos y geofísicos.

La cosmonáutica comprueba a la astronomía

¿Pueden las investigaciones a distancia dar unos datos verídicos sobre el mundo circundante?

Esta es una pregunta relacionada directamente con la astronomía. Es que los objetos cósmicos se hallan a unas distancias enormes de la Tierra y por eso los investigadores del Universo no tenían la posibilidad, por lo menos hasta el tiempo más reciente, de estudiarlos directamente. Ultimamente apareció tal posibilidad gracias al rápido desarrollo de la técnica de cohetes cósmicos y la asimilación exitosa del espacio cósmico. Ante nuestros ojos nació la astronomía cósmica: los aparatos cósmicos llevan los aparatos de medición y televisión a las regiones de los cuerpos celestes más cercanos y hasta a su superficie.

Se presentó una posibilidad plenamente real de comparar el «bagaje de conocimientos» acumulados meticulosamente por generaciones de astrónomos sobre el sistema solar con nuevos datos «cósmicos». ¿Y qué?

La respuesta a esta pregunta fue dada en una forma muy metafórica, aunque un poco paradójica, por I. S. Shklovski, astrónomo soviético de renombre, miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de la URSS, en una de sus intervenciones:

— El logro más grande en la esfera del estudio del sistema solar con ayuda de aparatos cósmicos es el hecho de que en esta esfera no se han hecho ningunos grandes descubrimientos. Pero resultó que «todo eso no es así». El esquema principal de los procesos cósmicos que transcurren en la familia planetaria del Sol, construido por la astronomía terrestre, ha tenido una afirmación convincente...

Esta conclusión tiene una importancia extremadamente grande, de principio: a pesar del carácter remoto y las dificultades que éste acarrea, las investigaciones astronómicas nos proporcionan unos conocimientos auténticos sobre el Universo.

Por supuesto, sería inocente pensar que el papel de la astronomía cósmica se reduce sólo a las afirmaciones. Si fuera así, posiblemente no valdría la pena desarrollarla. El nuevo método de estudio de los objetos cósmicos es en una serie de casos mucho más eficiente que los anteriores tradicionales. Esto permite conseguir con su ayuda una información nueva de principio inaccesible para la astronomía terrestre, aclarar detalles importantes de los procesos y fenómenos cósmicos, hallar la respuesta a muchas preguntas que durante largo tiempo permanecían sin contestar.

Así, por ejemplo, todavía antes del vuelo de aparatos cósmicos a la Luna, había un gran problema sobre las propiedades del terreno lunar. Existía la opinión de que gracias a miles de millones de años de bombardeo por meteoritos, la capa superficial de la Luna se ha transformado en polvo finísimo, una capa espesa del cual es capaz de absorber el aparato cósmico que se aluna. Los radioastrónomos del Instituto radiofísico de Gorki se ocuparon de la comprobación de esta hipótesis.

Comenzaron las investigaciones de la radioemisión térmica de la superficie lunar. La conclusión fue la siguiente: en la Luna no hay capa espesa de polvo, el terreno lunar es bastante resistente y en el sentido mecánico se parece a arena húmeda. Por supuesto, la capa superficial de la Luna no es húmeda, se trata solamente de la semejanza de las propiedades mecánicas...

Esta conclusión de la astronomía terrestre fue confirmada por múltiples aparatos cósmicos que visitaron la Luna, así como por los «Lunojodes» soviéticos y los participantes de las expediciones lunares norteamericanas.

Pero tratemos de comprender antes ¿por qué los métodos remotos de las investigaciones as-

tronómicas proporcionan unos resultados que corresponden a la posición real de las cosas?

Para responder a esta pregunta es necesario conocer los principios, en los cuales éstos se basan. El principio general consiste en el hecho de que se estudian no los propios objetos cósmicos, sino sus radiaciones electromagnéticas y corpusculares. Las propiedades de esas radiaciones dependen de las propiedades de sus fuentes. Con otras palabras, contienen información sobre las propiedades, de los objetos cósmicos y diferentes procesos físicos que transcurren en el Universo.

Así pues, las investigaciones astronómicas se reducen, en un principio, a la observación y el registro de diferentes radiaciones que llegan del cosmos, a su análisis y extracción de la información correspondiente. Pero no son sino bien los mismos métodos que utilizan exitosamente los físicos en sus laboratorios terrestres, bien los métodos que admiten una comprobación experimental multilateral.

Ya en el siglo pasado el científico francés Auguste Kont declaraba públicamente que el hombre jamás podría conocer la composición química de las estrellas. Pero este pronóstico lúgubre, así como muchas otras suposiciones pesimistas, no tuvieron suerte de realizarse. Muy pronto fue desmentido. Se halló un método seguro y eficaz de determinación de la composición química de objetos alejados, elaborado por los físicos y comprobado en numerosas ocasiones en los laboratorios terrestres: el método del análisis espectral de la radiación luminosa. Más aun, las investigaciones espectrales permiten no sólo estudiar la composición química de las fuentes de radiación cósmica, sino determinar su temperatura, el estado físico, las propiedades magnéticas, la velocidad de movimiento en el espacio,

hallar la respuesta a muchas cuestiones que interesan a los científicos.

Lo mismo puede decirse también sobre otros métodos de investigaciones astronómicas.

En conclusión cabe subrayar que la astronomía cósmica no puede existir sin su compañero terrestre. La solución de numerosos problemas enlazados con el estudio de los fenómenos cósmicos requiere investigaciones paralelas ópticas y radioastronómicas, la comparación de los datos obtenidos por diferentes métodos. Sólo cumpliendo esta condición puede comprenderse la esencia física de una serie de observaciones realizadas desde las órbitas cósmicas. Es simplemente imposible el desarrollo armonioso de la ciencia sobre el Universo sin el complejo astronómico terrestre.

El destino de una hipótesis

El planeta Marte tiene dos pequeños satélites: Fobos y Deimos. Deimos gira por una órbita alejada del planeta aproximadamente a 23 mil km, mientras que Fobos se mueve a la distancia de 9 mil km de Marte. Recordemos que la Luna está alejada de nosotros a 385 mil km, es decir, se halla 40 veces más lejos de la Tierra que Fobos de Marte.

Toda la historia del estudio de Fobos y Deimos está llena de acontecimientos maravillosos y enigmas atrayentes. Juzguen ustedes mismos: la primera mención sobre la existencia de dos satélites minúsculos de Marte apareció no en las obras científicas, sino en las páginas de los célebres «Viajes de Gulliver» escritos por Jonatán Swift a principios del siglo XVIII.

Según el desarrollo de los acontecimientos, Gulliver se encuentra en la isla volante de Laputa. Y los astrónomos del lugar le cuentan que

lograron descubrir dos pequeños satélites que giran alrededor de Marte.

En realidad las lunas marcianas fueron descubiertas por A. Hall sólo pasado un siglo y medio después de la salida a la luz de la novela, durante la gran oposición de Marte en el año 1877. Fueron descubiertos en unas condiciones atmosféricas excelentísimas, después de unas observaciones tenaces de varios días al límite de las posibilidades del instrumento y el ojo humano.

Ahora sólo podemos conjeturar qué indujo a Swift a predecir la existencia de dos satélites de Marte. Por lo menos, no las observaciones telescópicas. Lo más probable, Swift suponía que el número de satélites de los planetas debe aumentar a medida del alejamiento del Sol. En aquel entonces se sabía que Venus no tenía satélites, alrededor de la Tierra gira un satélite, la Luna, y alrededor de Júpiter cuatro, descubiertos todos por Galileo en 1610. Resultaba una progresión geométrica «evidente», en la cual en el lugar libre que corresponde a Marte se imponía, al parecer, el dos.

Por lo demás, Swift predijo no sólo la existencia de Fobos y Deimos, sino también que el radio de la órbita del satélite más próximo de Marte era igual a tres diámetros del planeta, y del exterior, a cinco. Tres diámetros son aproximadamente 20 mil kilómetros. Más o menos a esta distancia está ubicada la órbita de Deimos. Aunque no del satélite interior como afirmaba Swift, sino del exterior, pero de todas maneras la coincidencia impresiona. Por supuesto, precisamente la coincidencia...

La atención a las lunas marcianas fue atraída otra vez en la segunda mitad del siglo en curso. Comparando los resultados de las observaciones efectuadas en diferentes años, los astrónomos llegaron a la conclusión de que Fobos, el satélite

más próximo de Marte, experimenta frenado, gracias al cual se aproxima paulatinamente a la superficie del planeta. El fenómeno se tornaba misterioso. En todo caso, no se lograba explicar el frenado observado por ningunos efectos de la mecánica celeste.

Restaba lo único: suponer que el frenado de Fobos está ligado con la resistencia aerodinámica de la atmósfera marciana. No obstante, como mostraron los cálculos, la capa gaseosa de Marte a una altura de 6 mil km es capaz de oponer la resistencia correspondiente sólo a condición de que la densidad media de la materia de Fobos es pequeña. Hablando con más precisión, ¡increíblemente pequeña!

Precisamente entonces surgió una idea original: la densidad tan pequeña de Fobos puede explicarse ... ¡por su estructura hueca! Pero ignoramos los procesos naturales que podrían conducir a la formación de cuerpos celestes huecos en su interior. Se imponía la idea de que Fobos, y posiblemente también Deimos, son satélites artificiales de Marte creados millones de años atrás por seres razonables que, bien habitaban Marte en aquel tiempo, bien llegaron de algún lugar del cosmos.

Tal vez ahora, cuando los satélites de Marte están fotografiados desde una distancia corta por los aparatos cósmicos y no quedan dudas sobre su origen natural, no valdría la pena recordarlo. Pero el episodio del que se trata es muy aleccionador.

Es que hay ciencia y ciencia-ficción. ¿Dónde en esta hipótesis para el límite entre ellas? Si en el movimiento de Fobos en realidad tiene lugar el frenado señalado por los observadores, esto puede significar que el satélite de Marte es hueco. Esta es una hipótesis científica con todos los derechos. Parte de los datos astronómicos, y con

ayuda de las deducciones matemáticas correspondientes conduce a una conclusión determinada. El esquema corriente de una hipótesis científica es el siguiente: «si aquello es así, entonces esto». Todo lo demás pertenece a la esfera de la ciencia-ficción.

El destino siguiente de la hipótesis en cuestión estaba claro desde el principio: le esperaba el mismo destino de tantas otras hipótesis científicas. Tenía que obtener las confirmaciones necesarias, o quedarse desmentida. Mucho dependía de cuan precisos resultaran los datos de las observaciones respecto al frenado del satélite más próximo de Marte. Es que su fiabilidad despertaba temores: las observaciones se efectuaban al límite de la precisión de los instrumentos astronómicos. Y estos temores se confirmaron...

Cuando en las manos de los investigadores de Marte apareció un método nuevo y más potente de exploración de los planetas — las estaciones cósmicas automáticas—, todo quedó en sus lugares. En las fotos cósmicas se ve claramente que Fobos y Deimos son unas moles inmensas de forma irregular y, naturalmente, de origen natural.

Si se comparan los resultados de las observaciones astronómicas con lo que han comunicado las estaciones cósmicas, se perfila el cuadro siguiente. Los satélites de Marte son minúsculos cuerpos celestes. El tamaño de Fobos es 27 por 21, el de Deimos, 15 por 12 km. Se desplazan por órbitas casi circulares ubicadas en el plano del ecuador del planeta, en dirección a su rotación diaria. Deimos realiza una vuelta en 30 h. 18 min, y Fobos, en 7 h. 39 min. Si se toma en consideración que la duración de un día marciano es un poco más de 24 1/2 horas, es fácil comprender que Fobos adelanta ostensiblemente la rotación diaria del planeta. Estando en la super-

ficie de Marte, observaríamos que Fobos y Deimos siempre están dirigidos con sus grandes semiejes hacia el centro de Marte. (Recordemos que de una manera idéntica gira la Luna alrededor de la Tierra: desde nuestro planeta siempre se ve un mismo lado.)

El vuelo de la estación automática «Viking-1» permitió evaluar por primera vez la masa de Fobos. Cuando la sección orbital de esta estación pasaba a 100 km del satélite de Marte, los científicos norteamericanos pudieron determinar la perturbación de la trayectoria de su movimiento provocada por la gravitación de Fobos. Disponiendo de tales datos, ya no cuesta trabajo calcular la masa del cuerpo perturbador. Conociendo sus dimensiones, es posible calcular su densidad media. Esta resultó para Fobos próxima a 2 g/cm^3. Una densidad completamente normal, más o menos igual a la de una serie de meteoritos de piedra. De esta manera, no se necesita la hipótesis de la estructura hueca de los satélites de Marte.

Ahora está claro donde estaba el punto débil de esa hipótesis: en los datos astronómicos iniciales sobre el movimiento de Fobos.

Conociendo la masa de Fobos, se puede calcular el valor de la fuerza de la gravedad en su superficie. Es 2 mil veces menos que la terrestre. Puede formarse la impresión de que el astronauta que se encuentra en la superficie de Fobos, debe volar al cosmos haciendo el tirón más pequeño. Pero no es así del todo. Como muestran los cálculos, la segunda velocidad cósmica para Fobos constituye como promedio alrededor de 11,7 m/s. Esto no es muy poco. Tal velocidad en la Tierra puede desarrollar sólo un deportista saltando a una altura de dos metros y medio. Y como quiera que los esfuerzos de los músculos son en todos los lugares iguales todavía no ha

nacido tal hombre quien, apartándose con las piernas de Fobos, pudiera dejarlo para siempre.
Un gran interés representan las fotos de Fobos y Deimos. Fueron obtenidas por las estaciones



Fig. 5. Satélite de Marte Fobos

cósmicas a una distancia de tan sólo unas decenas de kilómetros. En la superficie de ambos satélites de Marte se ven claramente numerosos cráteres

parecidos a los lunares. El cráter más grande de Fobos alcanza 10 km de diámetro.

Es curioso que en aquel tiempo, cuando se discutía el problema de la pequeña densidad de Fobos, se expuso la suposición de que este fenómeno se explica no por el carácter hueco, sino que es el resultado del tratamiento de su superficie por los meteoritos, debido a lo que la materia de Fobos adquirió una gran porosidad. Y esto, entre tanto, fue cuando todavía se seguía discutiendo sobre el origen de los cráteres lunares, si era meteorítico o volcánico. La historia de la ciencia conoce también curiosidades semejantes cuando suposiciones correctas se expresan a base de datos incorrectos.

En las fotos de Fobos se ven, además de los cráteres, unos surcos casi paralelos con una anchura de centenares de metros que se extienden a grandes distancias. El origen de estas franjas enigmáticas sigue todavía sin aclarar. Posiblemente, es resultado de un impacto potente de un gran meteorito que «sacudió» a Fobos y provocó la formación de numerosas grietas. Tal vez los surcos enigmáticos hayan aparecido gracias a la acción de la marea de Marte. En favor de esto habla el hecho de que en Deimos, ubicado a una distancia mucho más grande de Marte, semejantes detalles no están descubiertos. Es que se sabe que las influencias gravitatorias disminuyen proporcionalmente al cuadrado de la distancia.

En lo que se trata del origen de Fobos y Deimos no se excluye que son cuerpos del tipo de asteroide captados por Marte. Quizás se hayan formado antes que el propio planeta. En todo caso, su estudio ulterior representa interés para la aclaración de las leyes de formación del sistema solar.

Cráteres omnipresentes

Desde que se han comenzando las observaciones telescópicas de la Luna, una de las particularidades más características de nuestro satélite natural se consideraba la abundancia de montes anulares o cráteres. Estas formaciones anulares cubren una parte considerable del hemisferio visible del globo lunar, alcanzando algunos de ellos doscientos y hasta trescientos kilómetros de diámetro.

Con respecto al origen de los cráteres lunares luchaban durante largo tiempo dos opiniones contrarias: la meteorítica y la volcánica. No obstante, para responder a la pregunta de qué en realidad representan los montes anulares en la Luna, cráteres de volcanes apagados o vórtices que se formaron debido a la caída de cuerpos cósmicos, meteoritos, los investigadores de la Luna no disponían de una cantidad suficiente de datos necesarios. Tales datos han aparecido sólo como resultado del estudio de nuestro satélite natural por aparatos cósmicos. Esos datos testimonian con evidencia en favor del origen por impacto de la mayoría aplastante de los cráteres lunares (aunque no todos).

En particular, ha resultado que, según las apreciaciones modernas, la cantidad de cuerpos meteoríticos que surcaban el espacio del sistema solar en diferentes épocas es exactamente tal, para explicar precisamente el número de cráteres que existe de hecho en diferentes lugares de la superficie lunar. Así, por ejemplo, los cálculos de la cantidad de cráteres han mostrado que la Luna fue sometida al bombardeo meteorítico más intenso a lo largo de los primeros mil millones de años de su existencia. Posteriormente, a medida de agotarse el material meteorítico en el espacio del sistema solar, el número de golpes

de los meteoritos sobre la superficie lunar disminuyó bruscamente. Con esto se explica el hecho de que en los mares lunares, que se formaron un poco más tarde que las regiones continentales, la cantidad de cráteres es aproximadamente 30 veces menor.

Es curioso señalar que la intensidad del bombardeo meteorítico de la Luna es actualmente pequeña. Según los datos que están a disposición de los científicos, en el área con el radio de alrededor de doscientos kilómetros cae, como promedio, un meteorito con una masa de cerca de un kilogramo aproximadamente una vez al mes.

También es relativamente pequeña la cantidad de micrometeoritos que cae en la época actual en la superficia lunar. Sin embargo, la acción de los cuerpos micrometeoríticos sobre la superficie de nuestro satélite natural también es ostensible en la época moderna en la escala de toda la Luna durante los lapsos de tiempo astronómicos. Lo testimonian los microcráteres o embudos microscópicos debidos a los impactos de las partículas más pequeñas de la materia cósmica descubiertas en los granos del terreno lunar de las muestras traídas a la Tierra. La impureza de la materia meteorítica se ha revelado en la capa superficial del terreno lunar en todos los lugares donde se tomaron las muestras correspondientes.

Un argumento convincente en favor del origen meteorítico de los montes anulares de la Luna ofrece, por extraño que parezca, el estudio del satélite de Marte Fobos, ya conocido por nosotros.

Se ha aclarado una circunstancia curiosa. Como ya se ha dicho, la superficie de Fobos está sembrada totalmente de cráteres. Tienen notoriamente un origen de impactos: es que el satélite de Marte es de pequeñas dimensiones sólo alrededor de 27 km de largo, y está claro que no se puede

hablar de cualesquiera procesos volcánicos en sus entrañas. Esto significa, a su vez, que los cráteres análogos en la Luna también deben tener, lo más probable, origen meteorítico, más aun que últimamente se descubrieron cráteres semejantes a los lunares *no sólo* en Fobos, sino en otros cuerpos del sistema solar, en particular, en el propio Marte. Como ha mostrado la toma de fotografías cósmicas muchas partes de la superficie de este planeta están sembradas de cráteres que se parecen a los lunares. La mayoría de esos cráteres se formó aproximadamente en la misma época que los cráteres de los continentes lunares, es decir, 3,5 ...4 mil millones de años atrás. Una parte de ellos se ha conservado bastante bien, algunos están muy destruidos, y hay tales, de los que han quedado apenas unas huellas visibles.

Numerosos cráteres meteoríticos fueron descubiertos con ayuda de los aparatos cósmicos también en Mercurio, el planeta del sistema solar más próximo al Sol. Cubren prácticamente toda la superficie de este cuerpo celeste. Los más grandes de éstos tienen un diámetro de varias decenas de kilómetros, los más pequeños (que se pudieron discernir en las fotos de televisión mandadas del cosmos) miden alrededor de cincuenta metros. De esta manera, los cráteres de Mercurio tienen, como promedio, unas dimensiones menores que los lunares.

En muchos grandes cráteres de Mercurio se pueden descubrir pequeñas formaciones anulares que, por lo visto, son de un origen más tardío. Esto atestigua que en la etapa temprana de existencia de Mercurio sobre su superficie caían bloques cósmicos de diferente tamaño, incluso muy grandes, pero con el tiempo, el material meteorítico en el espacio cósmico se hacía cada vez más fino. La justeza de tal deducción se confirma por el hecho de que los cráteres de los mares

lunares de origen más tardío tienen unas dimensiones mucho menores que los cráteres continentales más antiguos. Además no es superfluo señalar que la superficie de Mercurio se formaba aproximadamente en la misma época que los continentes lunares, es decir, alrededor de 4...4,5 mil millones de años atrás.

Con ayuda de las mediciones de radiolocalización fueron descubiertas las formaciones de cráteres también en el planeta Venus. Como se sabe, la superficie de este planeta no puede verse en el telescopio por existir una capa continua de nubes no transparente. Pero las ondas de radio atraviesan la nubosidad y, una vez reflejadas de la superficie del planeta, traen la información sobre el carácter de su relieve. Debido a las observaciones de radio, en una de las partes de la zona ecuatorial de Venus fueron registrados más de diez cráteres anulares con un diámetro de 35 a 150 km. Fue descubierto también un cráter con un diámetro de alrededor de 300 km y una profundidad de 1 km. Se le dio el nombre de Lisa Meitner, física de renombre, una de las pioneras de la investigación de la radiactividad.

A diferencia de los cráteres lunares, así como los de Mercurio, los cráteres venerianos son bastante aplanados.

Además, en Venus fue descubierta una estructura anular parecida a un cráter de forma bastante regular rodeada de un doble terraplén muy destruido con un diámetro de cerca de 2600 km. No obstante, existen diferentes puntos de vista con respecto a la naturaleza de esa formación.

Como se sabe, tanto Júpiter como Saturno son planetas constituidos por hidrógeno y helio. Sin embargo, sus numerosos satélites son cuerpos del tipo terrestre. Como mostraron las investigaciones cósmicas de los últimos años, éstos también fueron sometidos a su tiempo a un bom-

bardeo meteorítico intenso. Por ejemplo, las huellas de los múltiples impactos de meteoritos se ven en la superficie de los llamados satélites galileanos de Júpiter Ganímedes y, sobre todo, Calisto. Ambos estos satélites están cubiertos con unos caparazones espesos de hielo, por eso sus formaciones de cráteres tienen un colorido mucho más claro que las estructuras anulares en la Luna. En la foto de Ganímedes se ve claramente también una gran cuenca obscura cuyo diámetro supera 3000 km. No se excluye que es la «huella» del choque de Ganímedes con un cuerpo muy grande del tipo de asteroide.

Unos cráteres meteoríticos claros se ven también en la superficie de algunos satélites del planeta Saturno. Así, por ejemplo, en Mimas, en el lado vuelto constantemente a Saturno, se ve bien un enorme cráter meteorítico cuyo diámetro (130 km) es igual a un tercio del diámetro de propio Mimas. Como muestran los cálculos, si el impacto que provocó la formación de este cráter hubiera sido un poco más fuerte, Mimas se hubiera desmoronado en pedazos. Los cráteres cubren también toda la demás superficie de Mimas, haciéndolo parecido a la Luna. Tienen un tamaño menor, pero son bastante profundos.

Hay grandes cráteres meteoríticos también en la superficie de otro satélite de Saturno, Dioné. El diámetro del más grande alcanza 100 km. De algunos de ellos se separan rayos claros que se formaron, por lo visto, debido al desprendimiento del material durante los impactos de grandes cuerpos meteoríticos. La verdad es que no se excluye que los rayos, de los cuales se trata, representan unos depósitos de escarcha en la superficie de Dioné.

Los cráteres más grandes han sido descubiertos en el satélite de Saturno Rea. Alcanzan 300 km de diámetro. Muchos de ellos tienen picos cen-

trales. En general, el aspecto de Rea también se parece mucho al de la Luna o Mercurio.

Con ayuda de la estación interplanetaria automática „Voyager-2", que visitó los alrededores de Saturno a fines de agosto de 1981, en el satélite de este planeta Tefía fue registrado un cráter cuyo



Fig. 6. Satélite de Júpiter Calisto. (Foto tomada por la sonda cosmica "Voyager-1".)

diámetro mide alrededor de 400...500 km. Los especialistas opinan que dicho cráter se formó, lo más probable, debido al choque de Tefía con un cuerpo macizo.

Un cráter de un diámetro de alrededor de 100 km se ha encontrado también en la superficie del satélite de Saturno Hiperión. Ha resultado que dicho satélite tiene una forma irregular parecida a una patata. Según la opinión de los científicos, Hiperión pudo adquirir una forma *tan singular debido a un choque cósmico.*

De esta manera, la formación de los cráteres debido a la caída de cuerpos meteoríticos es un

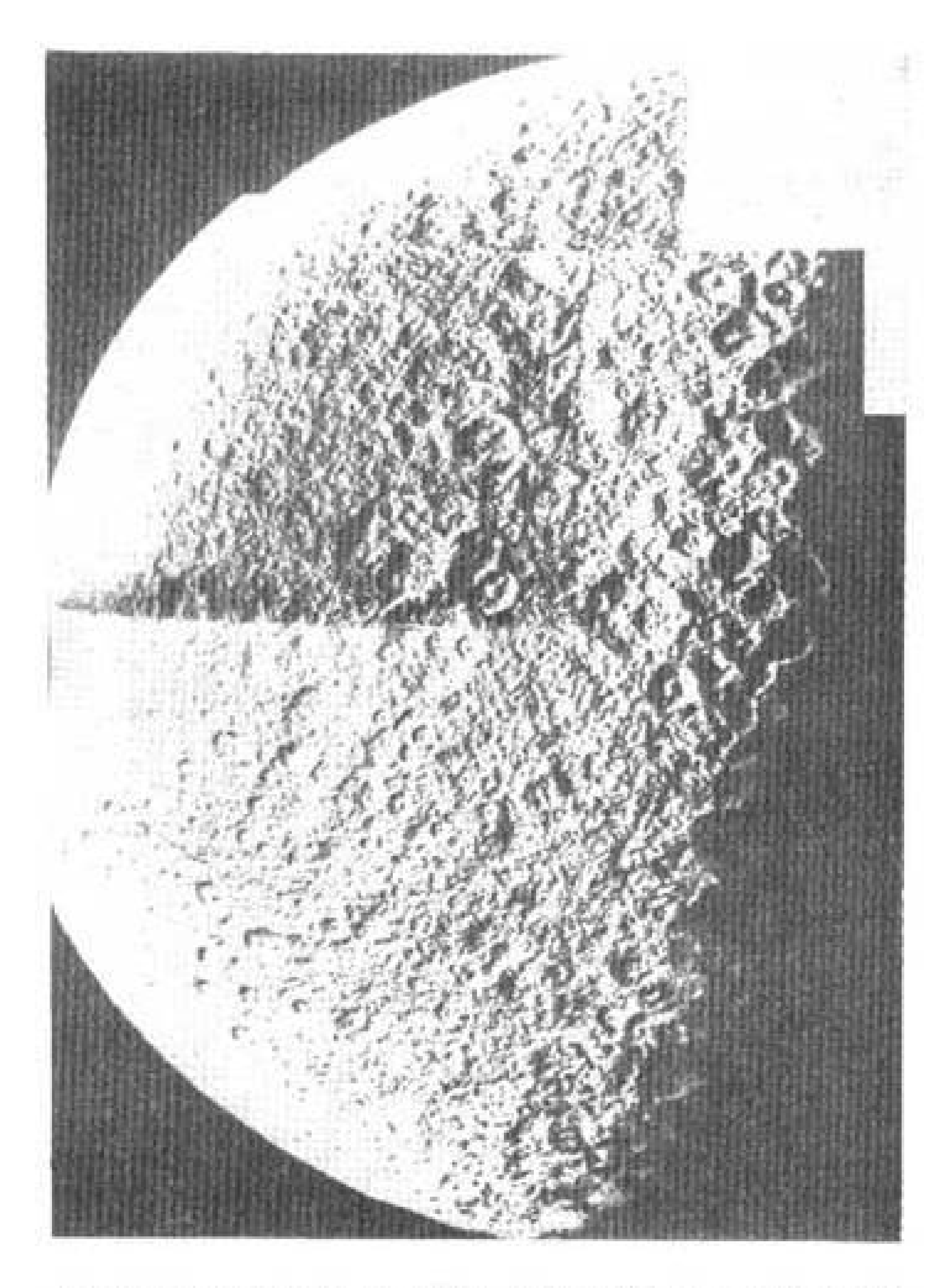


Fig. 7. Satélite de Saturno Rea. (Foto tomada por la sonda cósmica "Voyager-1".)

fenómeno característico tanto para los planetas *del grupo terrestre como para los satélites de los* planetas gigantes. Pero en este caso surge una pregunta completamente natural: ¿por qué en nuestro planeta, la Tierra, no hay semejantes *formaciones anulares?*

A decir verdad, sí existen embudos anulares aparecidos en el lugar de caída de meteoritos en



Fig. 8. Cráter meteorítico de Arizona

la Tierra. Uno de tales cráteres se halla en Estados Unidos en el estado de Arizona. Su diámetro es alrededor de 1200 m, y la profundidad alcanza 174 m. Todo un grupo de cráteres meteoríticos se ha descubierto también en la isla de Saaremaa en Estonia. El más grande de ellos tiene casi 110 m de diámetro y está lleno de agua.

Pero todos estos y muchos otros semejantes cráteres no pueden compararse por su tamaño con las formaciones anulares análogas más grandes, por ejemplo, en la Luna. Y hasta hace poco se

ha considerado que en la Tierra no existen totalmente cráteres de tal envergadura.

Esta circunstancia parecía por lo menos extraña, dado que la Tierra se formó en la misma época que los cuerpos celestes vecinos. Por tanto, en su superficie también debían de caer en un pasado remoto grandes meteoritos. Una explicación posible consistía en que durante millones y miles millones de años los embudos gigantescos que se formaron en los lugares de su caída, se habían sometido a la influencia de una serie de factores naturales cuya totalidad es característica precisamente para la Tierra: la lluvia, el viento, las oscilaciones temporales de temperatura, diferentes movimientos de la corteza terrestre... Además en la Tierra existe la biosfera que ejerce una influencia transformadora bastante importante sobre la construcción de las capas superficiales de nuestro planeta.

A la vez, estructuras geológicas semejantes a los cráteres meteoríticos anulares gigantescos podían surgir por vías puramente terrestres que no tienen que ver nada con la caída de cuerpos cósmicos. Entre tales fenómenos que son capaces de provocar grandes depresiones anulares figuran, por ejemplo, los asentamientos de las capas superficiales en las regiones de karst, las inmersiones de masas glaciales en las zonas de congelación perpetua y, sobre todo, los procesos volcánicos.

¿Pueden distinguirse los cráteres meteoríticos gigantescos antiguos (se les atribuye el nombre de astroblemas) de, digamos, las formaciones volcánicas? En un principio, tal posibilidad existe. Es que los procesos volcánicos están ligados estrechamente con el carácter determinado de la construcción de la corteza terrestre en la región dada, están preparados por toda la historia anterior de desarrollo de una u otra de sus

partes. En cambio, la disposición de los cráteres meteoríticos es puramente arbitraria, dado que los meteoritos podían caer, con igual grado de probabilidad, en cualquier punto de nuestro planeta. Con otras palabras, los cráteres meteoríticos se sitúan fuera de cualquier dependencia de las estructuras geológicas.

Como las caídas de grandes cuerpos meteoríticos van acompañadas del desprendimiento de una cantidad considerable de energía al chocar contra la superficie terrestre, en los cráteres meteoríticos pueden descubrirse, como regla, los desplazamientos de las rocas en las direcciones radiales. Además, debido a la trituración de las rocas, en la región de grandes cráteres meteoríticos se altera la ubicación de las líneas de fuerza magnética, características para la localidad dada.

Por fin, en los lugares de caída de los meteoritos gigantescos se encuentran formaciones específicas en forma de cono que tienen un tamaño desde unos centímetros hasta unos metros, para la aparición de las cuales se necesitan unas presiones superaltas. Durante los impactos de gran fuerza sucede también la formación de modificaciones especiales de cuarzo que poseen unas propiedades físicas insólitas.

Para apreciar el carácter grandioso de los fenómenos que surgen al caer meteoritos gigantescos, basta compararlos con tal proceso natural potente como las erupciones de los volcanes. Durante la erupción del volcán Besymianny acaecida unos años atrás en Kamchatka, que iba acompañada de una explosión gigantesca, la presión en la onda de choque constituyó alrededor de 3...5 kilobar. Es, en general, la máxima presión que se logra en los procesos geológicos. Mas durante las caídas de los meteoritos gigantescos se desarrolla una presión de hasta 250 y más kilobar.

Así pues, en principio existe la posibilidad de distinguir los astroblemas antiguas de las formaciones geológicas de forma parecida. Esto es muy importante, dado que la detección de la naturaleza meteorítica de las estructuras anulares gigantescas representa no sólo interés teórico, sino también un gran interés práctico. Si una u otra estructura tiene origen no volcánico, sino meteorítico, se apreciarán de diferente manera las posibilidades de existencia de minerales útiles en la región dada.

En 1970, al norte del Territorio de Krasnoyarsk, fue descubierto uno de los astroblemas más interesantes del mundo, la de Popigaisk. Su diámetro alcanza 100 km, y la profundidad, de 200 a 250 m. Los cálculos muestran que el meteorito que engendró tal astroblema debía tener unos kilómetros de diámetro. La caída de ese cuerpo cósmico tuvo lugar alrededor de 40 millones de años atrás. Es interesante que en el astroblema de Popigaisk el carácter de la vegetación corresponde a la zona de bosques-tundra, en particular, abunda el alerce. Pero en los alrededores del astroblema prácticamente no hay vegetación, y hasta mucho más al sur se extiende la tundra. Tal fenómeno se explica, posiblemente, por el hecho de que el astroblema forma una depresión que yace mucho más abajo del nivel del terreno circundante. Puede ser también que en el astroblema existe un flujo intenso de calor que proviene de las entrañas de la Tierra. Sólo investigaciones especiales pueden dar una respuesta definitiva a este problema intrigante.

Actualmente en el territorio de la Unión Soviética se conocen unas decenas de estructuras antiguas anulares (entre ellas, alrededor de 20 se hallan en el territorio de Kazakstán). El origen meteorítico de esos objetos se pone todavía en duda.

Así pues, tanto la Tierra como los demás cuerpos celestes del tipo planetario que integran el sistema solar, en una etapa determinada de su existencia se sometían a un bombardeo meteorítico intenso. Esto es un testimonio más en favor de que los planetas se formaban dentro de un proceso común. Hay una conclusión más que tiene una importancia considerable para aclarar las leyes de formación y evolución del sistema solar: en su historia hubo un período cuando en el espacio circunsolar se movían numerosos cuerpos meteoríticos grandes.

El estudio siguiente de los cráteres meteoríticos permitirá penetrar más profundamente en la historia de la Tierra y el sistema solar.

¿Ríos en Marte?

Entre todos los cuerpos celestes que forman parte del sistema solar, la fuente de la mayor cantidad de sensaciones e hipótesis que sorprenden la imaginación era, quizás, nuestro vecino por el lado opuesto al Sol: el planeta Marte. Los célebres canales, las zonas obscuras, los llamados mares, que cambian de color con el cambio de la estación del año, dos pequeños satélites, Fobos y Deimos, con respecto a los cuales se expresaban las suposiciones sobre su origen artificial...

Sin embargo, no se podía obtener una respuesta definitiva a esas preguntas mientras Marte se estudiaba por los métodos astronómicos. Se reflejaba la distancia enorme hasta el planeta que obstaculizaba mucho las investigaciones astronómicas: hasta en los períodos de la máxima aproximación, las grandes oposiciones que ocurren sólo una vez cada 15...17 años, nos separan de Marte 56 millones de kilómetros.

Un período nuevo de principio en el estudio de Marte está vinculado con el desarrollo de la técnica cósmica, que ha permitido llevar los aparatos de medición directamente a la región del planeta misterioso y a su superficie. La información obtenida con ayuda de las estaciones automáticas interplanetaria puso en claro muchos enigmas de Marte y desvaneció muchas hipótesis sensacionales. Los canales marcianos resultaron no obras hidrotécnicas de los marcianos, sino unas guirnaldas de cráteres bien prosaicos y otros detalles menudos; los mares, no zonas de vegetación, sino dunas arenosas; Fobos y Deimos, no estaciones orbitales altamente perfectas, sino unos bloques de piedra disformes.

Pero en la ciencia siempre sucede así: unos enigmas se descifran, y los sustituyen otros, no menos serios e interesantes. Las investigaciones modernas de Marte no han sido ni mucho menos una exclusión de esta regla. Uno de los problemas, quizás más curiosos, que ha surgido en el proceso del estudio de Marte por los aparatos cósmicos, ha sido la cuestión sobre la naturaleza de las formaciones sinuosas que hacen recordar los cauces de los ríos secados. Son anchos valles con afluentes, barrancos, terrazas costeras, depósitos detríticos e islas. Algunos de ellos alcanzan centenares de kilómetros de largo, otros, los más difundidos, se parecen mucho a los sistemas de ríos menudos terrestres. Los resultados del estudio de esos detalles enigmáticos del relieve marciano convencen de que se han formado debido a la influencia de las corrientes de líquido. Lo demuestra por lo menos el hecho de que el descenso de las formaciones parecidas a los cauces ha sucedido evidentemente poco a poco. Por lo visto, la cantidad de líquido disminuía paulatinamente, y los anchos torrentes se convertían primeramente en riachuelos y después, en arroyos. Estos

cambios fueron descubiertos al estudiar minuciosamente las fotos cósmicas de la superficie marciana.

No obstante, tal conclusión está en evidente contradicción con todo lo que sabemos sobre las condiciones físicas en Marte. Es un planeta relativamente pequeño: su diámetro es dos veces y pico menor que el de la Tierra. También es considerablemente inferior la fuerza de la gravedad cerca de la superficie del planeta: una pesa de tres kilos transportada desde la Tierra pesaría allí sólo alrededor de 450 gramos. En virtud de esto Marte no pudo retener una atmósfera densa y su capa gaseosa es varias veces más rarificada que el aire de la Tierra. La presión atmosférica cerca de la superficie del planeta es cien veces inferior a la terrestre. Esto quiere decir que en la mayoría aplastante de las regiones de nuestro vecino cósmico el agua no puede hallarse en estado líquido a temperaturas superiores a cero: sólo puede existir en forma de hielo o vapor. Además, en Marte se observan en todas partes temperaturas medias diarias negativas. Hasta en la zona ecuatorial, donde en verano la temperatura diurna sube hasta 20° C, durante la noche la atmósfera se enfría mucho, y para la mañana la temperatura baja hasta 50, a veces 60 grados bajo cero.

Esta conclusión fue confirmada por las mediciones realizadas con estaciones interplanetarias soviéticas y norteamericanas.

De esta manera, surge una situación extraña: en las condiciones físicas modernas no puede haber en Marte agua líquida en cantidades suficientes, mientras que existen formaciones parecidas a los cauces. Por otro lado, es difícil suponer que tales formaciones aparecieron como resultado de un "juego de la naturaleza" arbitrario. ¿De qué manera pudieron aparecer?

Una de las hipótesis vincula este acontecimiento con la congelación perpetua, la cual, según la opinión de algunos investigadores de Marte, debe alcanzar en este planeta una escala bastante considerable. Según la hipótesis en cuestión, en la historia de Marte sucedía primeramente la acumulación duradera de la congelación perpetua, y sólo después la afluencia del calor interior que se liberaba debido a la desintegración radiactiva y otros procesos que sucedían en el interior del planeta se hizo lo suficientemente fuerte para provocar el derretimiento de los hielos situados a cierta profundidad bajo la superficie. Gracias a esto pudo suceder la acumulación paulatina de grandes cantidades de agua en estanques subterráneos. Con el tiempo su tamaño aumentaba, y al fin y al cabo enormes masas de agua se irrumpían en la superficie con una fuerza y potencia colosales formando torrentes incontenibles capaces de socavar en el terreno cauces tortuosos.

También existen otras hipótesis. Una de ellas relaciona la formación de los "valles fluviales" con la época de un clima más caluroso, que posiblemente existió en Marte en un pasado remoto. ¿Pero cuándo pudo acontecer esto y en virtud de qué causas?

Por un lado, las formaciones parecidas a ríos se conservaron bastante bien, lo que habla sobre su origen relativamente reciente (por supuesto, en escala astronómica). Por otro lado, en uno de los depósitos antiguos de uno de los "cauces fluviales" se ha detectado un cráter meteorítico. El estudio de la foto ha mostrado que ese cráter se formó más tarde que los depósitos, puesto que evidentemente se superpone sobre ellos. Pero el diámetro del cráter forma alrededor de dos kilómetros y medio, mientras que los cuerpos meteoríticos de tamaño correspondiente, capaces de provocar la formación de

cráteres tan grandes, cayeron sobre Marte, tal como nosotros podemos juzgar, sólo en un pasado bastante remoto. ¿Cómo hacer coincidir los datos tan contradictorios?

Se impone la conclusión siguiente: los procesos que conducían a la formación de los "valles fluviales" se repetían en Marte más de una vez. En favor de la justeza de tal suposición testimonia también una serie de otros hechos. Así, por ejemplo, sobre aquel mismo cauce donde está situado el cráter susodicho se superponen depósitos más tardíos, mientras que los depósitos en las zonas polares tienen, como se ha podido establecer hace poco, un carácter estratificado.

Pero en este caso surge una nueva pregunta: ¿qué causas pudieron provocar las elevaciones periódicas de la temperatura del clima marciano? Buscando la respuesta, los investigadores de Marte prestaron atención a los llamados casquetes polares, unas manchas muy claras, casi blancas, situadas cerca de los polos del planeta. Como han mostrado las observaciones realizadas con ayuda de los aparatos cósmicos, ambos casquetes polares están cubiertos con una capa de bióxido carbónico sólido, conocido ampliamente bajo el nombre de "hielo seco". En el período de primavera y verano, esa capa se evapora bastante rápidamente, descubriendo una corteza de hielo corriente.

De esta manera, en Marte sucede el intercambio periódico del bióxido carbónico entre la atmósfera y los casquetes polares. En el período de primavera y verano éste se transforma del estado sólido al gaseoso, y en invierno se condensa de nuevo en casquetes polares. En este caso no se excluye que la reserva total de bióxido carbónico sólido en los casquetes polares excede considerablemente de la cantidad de éste que se contiene actualmente en la capa gaseosa del

planeta. Precisamente con esta posibilidad está vinculada una hipótesis bastante curiosa de las elevaciones periódicas de la temperatura del clima marciano.

Como es sabido, el carácter del cambio de las estaciones del año en la Tierra está ligado con la inclinación del eje de rotación de nuestro planeta hacia el plano de su órbita. Este ángulo constituye 66,5 grado. Para Marte es de 64,8 grados. La verdad es que el eje de rotación de Marte está dirigido no a la estrella Polar, sino a otro punto de la esfera celeste, pero esto no influye sobre el carácter del cambio de las estaciones del año: en principio, sucede igual que en la Tierra. Pero como Marte gasta en una vuelta alrededor del Sol casi el doble de tiempo que la Tierra, la primavera, el verano, el otoño y el invierno marcianos duran dos veces más que los terrestres.

Ciertos cálculos sumamente complicados, realizados por los astrónomos en los últimos años, muestran que en virtud de una serie de causas, vinculadas principalmente con la acción de la atracción solar y de otros planetas, la inclinación del eje de rotación de Marte hacia el plano de su movimiento puede experimentar cambios periódicos, alcanzando el máximo valor dentro de cada varios millones de años.

Tales cambios deben reflejarse bastante considerablemente en la cantidad de calor solar suministrado a las zonas polares del planeta y, por consiguiente, en el régimen de evaporación y condensación de los casquetes polares y en el intercambio de bióxido carbónico entre los casquetes y la atmósfera marciana. Además, el suministro intensivo de la energía solar debe conducir a la liberación de una cantidad considerable del bióxido carbónico que se contiene en el suelo, así como a la evaporación del hielo de agua.

¿Qué pasará si a consecuencia del cambio del

régimen térmico comienza a entrar intensamente el dióxido carbónico y el vapor de agua en la atmósfera de Marte? Comenzará a funcionar un mecanismo bastante curioso. Crecerá la presión atmosférica. Al hacerse más densa la capa gaseosa de Marte aumentará el llamado efecto de invernadero que se opone a la pérdida de calor por el planeta al espacio interplanetario. Semejante proceso conducirá al aumento de la temperatura, lo que a su vez llevará consigo el aumento del contenido de humedad en la atmósfera. Como resultado, el efecto de invernadero aumentará aún más, lo que provocará el siguiente aumento de la temperatura y la llegada de nuevas cantidades de vapor de agua y de bióxido carbónico a la atmósfera.

Al fin y al cabo, dicho proceso es capaz de conducir a tales valores de la temperatura y de presión que harán posible la aparición de agua líquida en la superficie del planeta. Comenzará el derretimiento de los hielos y surgirán corrientes fluviales. Por lo visto, la reserva de agua en estado sólido en Marte es bastante grande, y no sólo en la congelación perpetua, sino, posiblemente, en los glaciares. En todo caso, en una de las fotos cósmicas de Marte se ha captado una formación bastante parecida a la lengua de un glaciar.

En las épocas de elevación de la temperatura del clima, en Marte puede también llover. Según la opinión de ciertos científicos, precisamente por el agua pluvial están formadas las redes de cauces menudos, que no pocas veces nacen en los caballones de los cráteres marcianos.

Así pues, las formaciones parecidas a los ríos en Marte atestiguan de que en la historia de dicho planeta pudieron existir épocas de un clima mucho más caluroso que actualmente, acompañadas de la aparición de depósitos abiertos,

Anillos de los planetas gigantes

Entre los planetas del sistema solar se destaca Saturno por su aspecto singular. Está rodeado por una formación asombrosa y muy bonita: anillos constituidos por una multitud de partículas finas de hielo y bloques de hielo, cuyo tamaño alcanza decenas de metros, que giran alrededor del cuerpo principal del planeta.

Durante largo tiempo se creía que los anillos de Saturno eran una formación única en la familia de los planetas. No obstante, en 1976 fueron descubiertos, con ayuda de las observaciones terrestres, anillos alrededor de Urano, el séptimo planeta del sistema solar. Poco tiempo después, la estación cósmica «Voyager-1» registró la existencia de un débil anillo en el planeta Júpiter. Su espesor es alrededor de 1 km. Está formado por partículas cuyo diámetro oscila entre una micra y unos metros.

En lo que se trata de los anillos de Saturno, los astrónomos consideraban, partiendo de las numerosas observaciones obtenidas por los observatorios terrestres, que eran cuatro. Los anillos fueron designados con las mayúsculas del alfabeto latino A, B, C y D comenzando por el cuarto anillo, que a su tiempo se consideraba el más exterior. Por eso, cuando fue descubierto el quinto, aún más alejado de Saturno, se le artibuyó el índice E.

Una época nueva en el estudio de los anillos fue abierta gracias a las investigaciones de Saturno a bordo de las naves interplanetarias norteamericanas «Pioneer-11», «Voyager-1» y «Voyager-2», en los años 1979...1981. En particular, la astronave «Pioneer-11» descubrió el anillo más alejado designado con la letra F, y la «Voyager-1» transmitió a la Tierra las imágenes de los anillos D y E, cuya existencia infundía ciertas dudas.

Más todavía, el análisis de las fotos obtenidas por «Voyager-1» condujo a los científicos a la conclusión sobre la posible existencia de un anillo más, el séptimo.

Pero lo verdaderamente sensacional fue otra cosa. Resultó que Saturno está rodeado no por

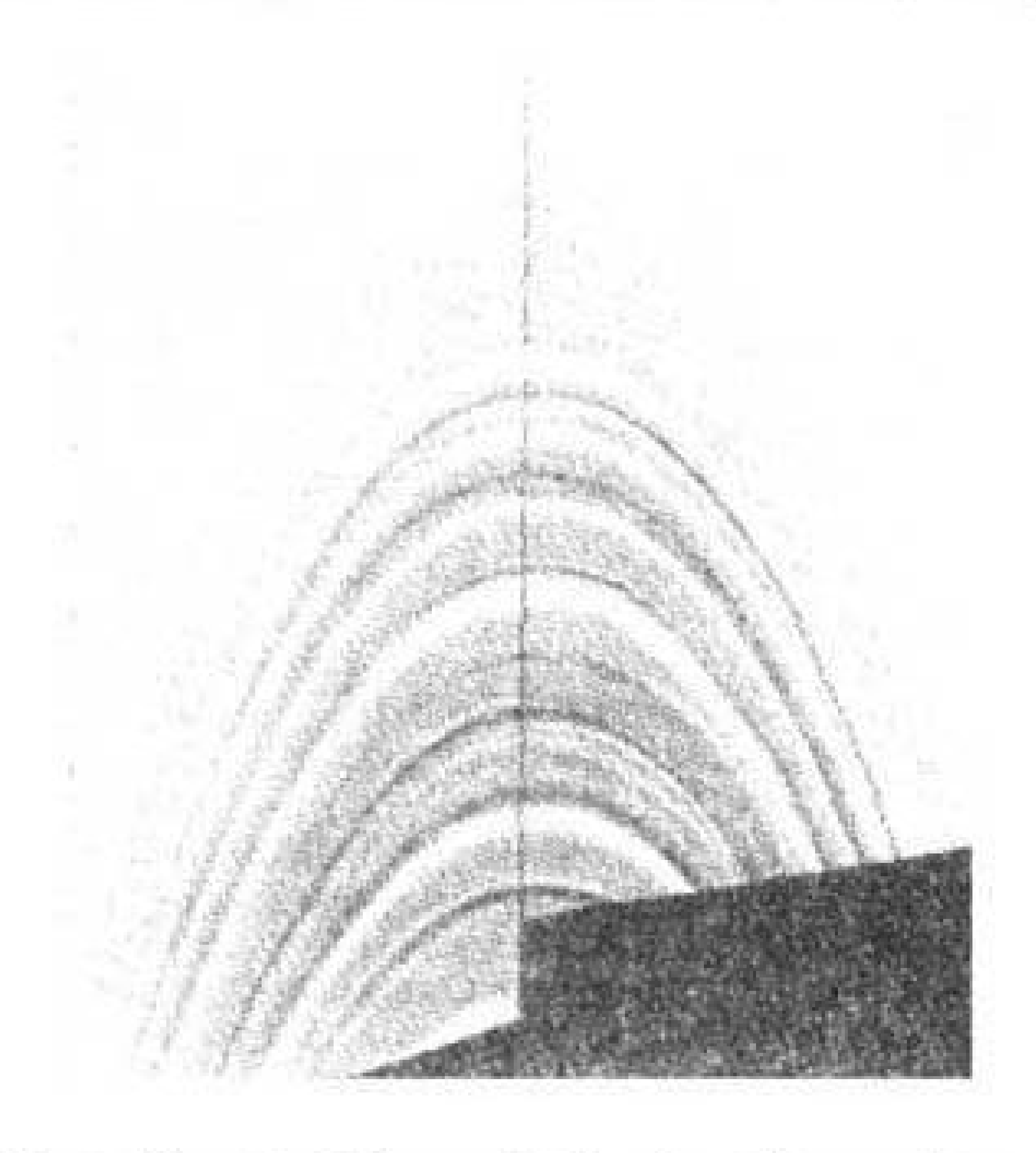


Fig 9 Anillos de Saturno. (Foto tomada por la sonda cósmica "Voyager-1".)

seis o siete anillos anchos, sino por unos centenares de anillos concéntricos estrechos. Según las apreciaciones de los especialistas, ¡su número constituye de 500 a 1000! En las fotos tomadas por «Voyager-2» se ve que estos anillos estrechos

se descomponen a su vez en «anillitos» o «cordones» aún más estrechos. No menos sorprendente es el hecho de que no todos los anillos estrechos poseen una forma regular. Así, por ejemplo, la anchura de uno de ellos varía de 25 a 80 km.

¿Cómo se explica tal estructura de los anillos? Parece más interesante la suposición de que la segregación de los anillos en numerosos hilos sucede gracias a la influencia gravitatoria de los satélites de Saturno, incluso los pequeños, descubiertos recientemente con ayuda de los aparatos cósmicos.

Llama la atención la anchura relativamente reducida del anillo F. Lo más probable, ésta se explica por la influencia de dos pequeños satélites de Saturno antes desconocidos con unos diámetros de alrededor de 200 km. Uno de ellos está situado cerca del borde exterior del anillo F, mientras que el otro, cerca del borde interior. Como muestran los cálculos, esos satélites con su influencia «empujan» las partículas hacia el interior del anillo. Debido a esto, se los llamó alegóricamente «pastores»: como si guardaran la estructura del anillo.

Una particularidad sorprendente más de los anillos de Saturno son los «rayos», unas formaciones extrañas que se extienden a través de los anillos en las direcciones radiales a una distancia de varios miles de kilómetros. Giran, igual que los rayos de una rueda, alrededor del planeta y pueden observarse a lo largo de varias vueltas. Pero si los «rayos» fueran la parte integrante de los anillos, tendrían que descomponerse rápidamente, puesto que las partículas de los anillos ubicadas a diferentes distancias del planeta se mueven con diferentes velocidades angulares. Un análisis minucioso de las fotografías enviadas por las estaciones cósmicas ha mostrado que el tiempo de una vuelta total de los «rayos»

corresponde exactamente al período de rotación axial del propio Saturno. Con relación a esto se ha propuesto una suposición de que los «rayos» están constituidos por unas partículas finas ubicadas encima del plano de los anillos y retenidas por las fuerzas electrostáticas. Su rotación se explica por el hecho de que son arrastradas por el campo magnético de Saturno.

Y un enigma más: en el anillo F se han descubierto hinchazones y hasta entrelazamientos de hilos aislados. ¡Un fenómeno que difícilmente se explica desde el punto de vista de las leyes de la mecánica corriente! Lo más probable es que éste también está enlazado con las influencias electromagnéticas.

El descubrimiento de los anillos de Júpiter y Urano quiere decir que la existencia de semejantes estructuras es normal para los planetas gigantes. Por lo que parece, su formación es resultado de un proceso no acabado de formación de los satélites del planeta a partir de las partículas de la nube protoplanetaria a una distancia corta de éste. Por lo demás, existen también otras suposiciones.

Volcanes del sistema solar

Para la astronomía moderna es característica una amplia aplicación del «principio de comparación». Si queremos estudiar las leyes del desarrollo y la estructura de algún objeto cósmico, entonces uno de los métodos bastante eficientes de solución de ese problema consiste en hallar en el Universo otros objetos similares tratando de aclarar su semejanza y diferencia comparándolos con el objeto que nos interesa. Al revelar las causas de éstas, avanzaremos considerablemente en la solución del problema planteado.

La semejanza señala la comunidad de las causas, los factores determinados que influían sobre la evolución de los objetos estudiados, la diferencia permite hallar las circunstancias que predeterminaron las distintas vías de su desarrollo.

Es muy natural que hasta estudiando los problemas científicos más abstractos, el propósito final de las investigaciones es la aplicación de los nuevos conocimientos en la práctica humana. Tal enfoque está determinado por la naturaleza social de la ciencia como una de las formas de la actividad humana. No es excepción la astronomía Estudiando los fenómenos cósmicos, los astrónomos piensan, ante todo, en la Tierra. Esto se refiere especialmente a las investigaciones de otros planetas del sistema solar que permiten conocer mejor nuestra propia casa cósmica. Uno de los problemas importantes de tal especie es el estudio del volcanismo.

Los procesos volcánicos representan una de las manifestaciones características de la vida interna de nuestro planeta, cuyas réplicas ejercen una influencia considerable sobre muchos procesos geofísicos. Sobre la escala del volcanismo terrestre habla por lo menos el hecho de que en la Tierra hay alrededor de 540 volcanes activos, es decir, tales volcanes, cuya erupción, aunque sea una sola vez, guarda la memoria de la humanidad. Entre ellos, 360 se encuentran en el llamado cinturón de fuego alrededor del Pacífico y 68 en Kamchatka y las islas Kuriles.

Como se ha aclarado en los últimos años, una cantidad aún más grande de volcanes se halla en el fondo de los océanos. Sólo en la parte central del Pacífico hay no menos de 200 mil.

Durante una sola erupción volcánica de mediana potencia se desprende una energía com-

parable con la de 400 mil toneladas de combustible convencional. Si la energía volcánica se compara con la energía encerrada en la hulla, entonces durante las grandes erupciones su «equivalente hullero» alcanza 5 millones de toneladas.

Durante las erupciones se arroja una gran cantidad de partículas sólidas de las entrañas de la Tierra. Estas llegan a la atmósfera y dispersando los rayos solares, influyen notablemente sobre la cantidad de calor que llega a la Tierra. En particular, existen datos que testimonian que ciertos períodos de descenso duradero de la temperatura en la historia de nuestro planeta fueron precedidos por una fuerte actividad volcánica. La ciencia moderna dispone de numerosos datos que son testimonios del hecho de que los fenómenos volcánicos suceden no sólo en la Tierra, sino en otros cuerpos celestes del tipo planetario, parecidos a la Tierra por su naturaleza y estructura.

El cuerpo celeste más próximo a nosotros es la Luna, y, por lo visto, las condiciones de su formación fueron parecidas a las condiciones de formación de nuestro propio planeta. Por eso la comparación con la Luna representa un interés especialmente grande.

Como se sabe, debido al estudio de la Luna con aparatos cósmicos se ha aclarado que la mayoría aplastante de sus montes-cráteres anulares tiene origen meteorítico, de impacto. No obstante, en la superficie de nuestro satélite natural se revelan huellas evidentes de la actividad volcánica. Así, por ejemplo, son muy difundidos en la Luna los basaltos de origen volcánico, se encuentran también afloramientos de lava solidificada. Hay razones para suponer que las concentraciones de masas, los mascones, descubiertos con ayuda de los satélites artificiales de la Luna

debajo del fondo de ciertos mares lunares, no son sino unos tapones de lava solidificados.

Existen en la superficie de la Luna tales formaciones, que posiblemente estén vinculadas con los procesos volcánicos de una manera aún más estrecha. Se trata de las llamadas cúpulas, unos hinchazones esféricos peculiares de pendiente suave, en cuya cresta a veces se ubica una formación que recuerda la caldera volcánica (zona de desprendimiento alrededor del cráter). Es interesante que semejantes formaciones se encuentran en una cantidad bastante grande también en la Tierra. Estas son los lacolitos, levantamientos de la corteza terrestre, surgidos como resultado de la actividad de los focos volcánicos. A ellos pertenecen, por ejemplo, ciertos montes en el Cáucaso del Norte, que seguramente son conocidos por la mayoría de los lectores: Mashuk, Beshtáu, Zmeika...

En general, en la formación del relieve lunar participaron tanto los procesos exteriores (exógenos) como interiores (endógenos). Como ejemplo de la acción conjunta de esos factores puede citarse la formación de los mares circulares. Según los datos que están a disposición de los investigadores de la Luna, esto sucedió de la manera siguiente. Debido al impacto de un gran cuerpo meteorítico apareció un embudo de unas decenas de kilómetros de profundidad. Al transcurrir el tiempo, el fondo del embudo se enderezaba paulatinamente gracias a la flexibilidad de la corteza lunar, y aproximadamente dentro de 500 millones de años sucedía la irrupción de la lava desde una profundidad de cerca de 200 km. Llenando el fondo del embudo y solidificándose, la lava formaba una superficie plana. De una manera más o menos semejante sucedía la formación de los cráteres lunares de fondo plano, los llamados cráteres sumergidos.

Puede añadirse a lo expuesto más arriba que el estudio de las fotos de la superficie lunar, tomadas a bordo de los satélites artificiales de la Luna ha mostrado que en varios lugares de ésta hay torrentes y lagos de lava solidificada. Como opinan los especialistas, los procesos volcánicos activos sucedían en la Luna principalmente durante los primeros mil millones y medio de años después de su formación. En favor de tal suposición hablan las mediciones de la edad de las muestras del terreno lunar que contienen rocas volcánicas. Esta edad resultó no menor de 3 mil millones de años.

Unas huellas claras de la actividad volcánica pueden descubrirse también en las fotos cósmicas de Mercurio, el planeta más próximo al Sol. La superficie de Mercurio está cubierta casi totalmente por una cantidad enorme de cráteres. Aunque los propios cráteres, al igual que los lunares, tienen origen de impacto, en el fondo de algunos de ellos se ven bien las huellas de erupción de la lava.

Existe también una serie de datos que hablan en favor de la suposición de que la actividad volcánica en Venus sigue hasta hoy día. Como se sabe, la temperatura de la superficie de este planeta se aproxima a 500° C. Por lo visto, una temperatura tan alta se explica, ante todo, por la acción del efecto de invernáculo, gracias al cual en las capas bajas de la atmósfera venoriana se acumula el calor recibido del Sol. Pero no se excluye que cierta aportación en esa temperatura se debe a los procesos volcánicos, en particular, a la erupción de las masas de lava caliente en la superficie. Es posible que con las irrupciones volcánicas está ligada una cantidad considerable de partículas sólidas, las cuales, según ciertos datos, existen en la capa gaseosa de Venus.

Huelga señalar también una gran cantidad de gas carbónico (97%) en la atmósfera de ese planeta. Pero como se sabe, el desprendimiento del gas carbónico es un rasgo característico de los fenómenos volcánicos.

Todavía ignoramos cual es la naturaleza de los cráteres en Venus, volcánica o meteorítica. Pero se han descubierto tres manchas «claras», es decir, las zonas que mejor reflejan las ondas radioeléctricas.

Una de ellas alcanza 400 km de diámetro. Según la opinión de los especialistas, las manchas susodichas son formaciones constituidas por las corrientes de lava.

En la zona del macizo montañoso de Maxwell, en la cumbre del monte más alto de Venus, está ubicada una caldera de 100 kilómetros, lo más probable, de origen volcánico.

Sobre la región denotada con la letra griega «Beta» se ha registrado una perturbación considerable del campo gravitatorio, un fenómeno que en las condiciones terrestres se encuentra sobre las regiones de ubicación de volcanes jóvenes (aunque no obligatoriamente activos). Se supone también que los numerosos rayos que salen de Beta hacia diferentes lados no son sino corrientes solidificadas de lava. Por lo visto, Beta es un volcán escudo con un diámetro de la base de alrededor de 800 km y una caldera de 80 km sobre la cumbre.

En favor de la suposición sobre los fenómenos volcánicos que actualmente acaecen en Venus hablan las numerosas descargas eléctricas del tipo de rayo registradas por las estaciones soviéticas «Venera-11, 12 y 13» en la zona de algunos montes venerianos. Semejantes fenómenos se observaron más de una vez durante las erupciones de volcanes terrestres.

Llaman la atención también las velocidades

enormes de movimiento de las masas gaseosas en la atmósfera de Venus. Siendo relativamente lenta la propia rotación del planeta (una vuelta alrededor del eje durante 243 días terrestres), la velocidad de la circulación atmosférica alcanza 4...5 días. Pero semejantes velocidades uracánicas tienen que estar vinculadas con los gastos de colosales cantidades de energía. Posiblemente, esa energía llega no sólo del Sol, sino también del interior del planeta.

El análisis de los datos nuevos sobre Marte, obtenidos principalmente con ayuda de los aparatos cósmicos, ha mostrado que también en ese planeta los procesos volcánicos desempeñan un papel importante en la formación del relieve. Así, algunos cráteres marcianos tienen montículos centrales con un punto obscuro en la cresta. No se excluye que son volcanes apagados.

Hay en Marte montañas, cuya naturaleza volcánica no se pone en duda, por ejemplo, el monte Olimpo de alrededor de 24 km de altura. Para comparar basta con hacer recordar que Everest, el monte más elevado del globo, no alcanza 9 km. Cuando en 1971 en Marte se desencadenó una tormenta de polvo de enorme fuerza, el cono del Olimpo se elevaba sobre la cortina de polvo.

En la misma región están ubicados tres gigantescos volcanes apagados más, cuya altura es un poco menor. Según las apreciaciones de los especialistas, las erupciones de ese grupo de volcanes sucedieron decenas y centenares de millones de años atrás. Iban acompañadas de la irrupción de enormes cantidades de ceniza que cubre, posiblemente, hoy en día muchas zonas llanas del planeta. La presencia en Marte de montes tan altos de origen volcánico testimonia sobre una gran potencia de los procesos volcánicos, gracias a los cuales en la superficie del

planeta se vertían masas enormes de materia.

El descubrimiento tal vez más interesante de los realizados con ayuda de aparatos cósmicos fue el hecho de encontrar en Io, el satélite de

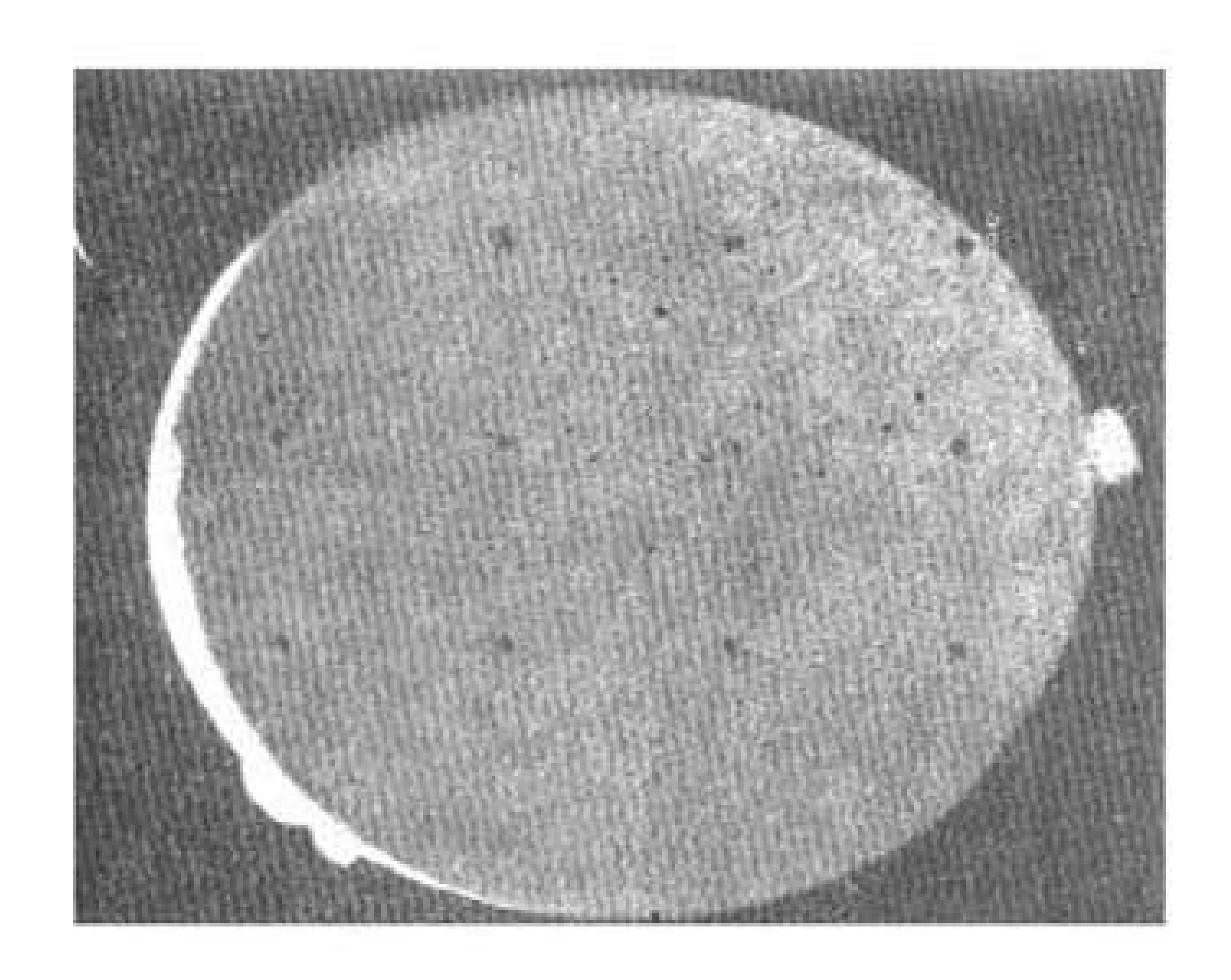


Fig. 10. Erupción de un volcán en el satélite de Júpiter 10. (Foto tomada por la sonda cósmica "Voyager-1".)

Júpiter, 8...9 volcanes activos. Arrojan polvo y gases calientes a una altura de hasta 200 km.

Los procesos volcánicos que suceden en la Tierra están relacionados con el calentamiento de las entrañas terrestres debido principalmente a la descomposición de los elementos, radiactivos. En lo que se refiere a Io, de fuente de calentamiento sirven, por lo visto, las perturbaciones

de marea por parte de los satélites vecinos de Júpiter en su campo gravitatorio potente.

Un interés indiscutible representa el hecho de que, aunque entre las fotografías de Io por las estaciones «Voyager-1» y «Voyager-2» hubo unos meses de diferencia, seis de los volcanes activos descubiertos seguían en estado de erupción. ¿Con qué se explica la duración tan grande de las erupciones? El astrónomo soviético G. A. Leikin propuso una hipótesis interesante.

Si Io posee su propio campo magnético, no se excluye que sobre su superficie caen partículas de los cinturones de radiación de Júpiter. Es muy posible también que en las regiones de erupciones volcánicas existén anomalías magnéticas que favorecen a la concentración de tales partículas precisamente en esos lugares. Bajo su influencia puede suceder la evaporación de la materia de la superficie, lo que contribuye a los fenómenos volcánicos.

Los procesos volcánicos pueden transcurrir también en el satélite de Saturno Titán, que es uno de los satélites más grandes de los planetas en el sistema solar. Pero durante las erupciones en Titán se vierten no flujos de lava caliente, sino metano líquido y soluciones de amoníaco.

Así pues, los procesos volcánicos representan, por lo visto, a pesar de su variedad, una etapa lógica de la evolución de los cuerpos celestes del tipo planetario terrestre. Por eso el estudio de los fenómenos volcánicos en otros planetas del sistema solar contribuirá indudablemente a un conocimiento más profundo de las leyes de la vida interior de la Tierra.

La Luna y las partículas elementales

A los físicos que se ocupan del estudio de la estructura de la materia, los rayos cósmicos les

sirven de laboratorio natural imprescindible. En los flujos de la radiación cósmica que atraviesa el Universo pueden encontrarse partículas con tal energía, la cual todavía no sabemos obtener hasta con los aceleradores más potentes.

No obstante, el «laboratorio de rayos cósmicos» tiene una insuficiencia bastante esencial: si se trata de la búsqueda de partículas que poseen propiedades raras, la espera puede durar varias décadas. Es que es imposible saber de antemano cuándo la partícula que nos interesa aparecerá precisamente en aquel punto del espacio donde se hallan en el momento dado los aparatos de registro.

Los físicos tratan de encontrar salida a la situación instalando en las regiones montañosas placas fotográficas especiales con emulsiones de capas gruesas. Al atravesar tales emulsiones, los rayos cósmicos dejan sus huellas o trazas.

Pero, en primer lugar, la duración de tales investigaciones todavía es breve, y en segundo lugar, hasta los picos montañosos más altos no son el cosmos ni mucho menos. No todas las partículas pueden penetrar aquí atravesando el espesor de la atmósfera terrestre. Es verdad que los físicos obtuvieron, con el desarrollo de la técnica, la posibilidad de elevar sus instrumentos utilizando aviones de gran altura, globos-sonda y aparatos cósmicos de diferentes tipos. Pero los aviones y globos-sonda pueden garantizar sólo observaciones breves, y los aparatos cósmicos han aparecido relativamente hace poco.

De todas maneras, precisamente los aparatos cósmicos son capaces de hacer la verdadera revolución en el estudio de los rayos cósmicos. Han hecho accesible para los investigadores el laboratorio, donde el registro de los rayos cósmicos se realiza durante miles millones de

años. Ese laboratorio también ha sido creado por la propia naturaleza. Se trata de la Luna.

Como ya sabemos, la superficie lunar, no protegida por la atmósfera, se somete al tratamiento continuo por las partículas de los rayos cósmi-



Fig. 11. Huellas de las partículas elementales en la emulsión fotográfica

cos. Y las rocas lunares guardan las huellas de dichos impactos. Ya empezó el estudio de dichas huellas.

Han aparecido las primeras noticias excepcionalmente interesantes. Los científicos indios D. Lal y N. Bhaudari descubrieron, como resultado de un tratamiento especial de las muestras

traídas de la Luna, en los cristales de la materia lunar unas trazas insólitamente largas de algunas partículas. Una de ellas alcanza 18 micras. Puede señalarse, para comparar, que las partículas que se forman durante la fusión espontánea de los núcleos de los átomos de uranio, dan unas trazas que tienen sólo hasta 14 micras de longitud.

B. Prise, científico estadounidense, descubrió en la roca lunar una traza cincuenta veces más larga.

¿A qué partículas pueden pertenecer las huellas tan largas?

En lo que se refiere a las trazas descubiertas por los científicos indios, no se excluye la posibilidad de que son dejadas por fragmentos de los núcleos de elementos transuranianos superpesados...

Como se sabe, durante largo tiempo el uranio ocupaba el último, nonagésimo segundo lugar en la tabla periódica de los elementos. Gracias a los avances de la física nuclear, los científicos han podido sintetizar artificialmente una serie de elementos transuranianos.

La principal dificultad de tal síntesis radica en el hecho de que los elementos transuranianos son muy inestables. Cuanto más pesado es el núcleo, tanto más rápidamente se fusiona. Por eso era de esperar que sería muy difícil y hasta completamente imposible obtener elementos con números superiores a 103. No obstante, cuando en Dubná fue sintetizado el elemento 104 llamado «kurchatovio», resultó que la duración de su vida constituye alrededor de tres segundos.

Analizando este y algunos otros hechos, los teóricos llegaron a la conclusión de que en el mundo de elementos transuranianos deben existir las «isletas de estabilidad» peculiares, o sea los átomos que poseen capas electrónicas esta-

bles. Se supone que tales isletas se encuentran en la región de los elementos 106...114 y 124... 126.

Pero si ciertos elementos transuranianos realmente poseen una larga duración de vida, ellos deben existir en la naturaleza. Surgiendo, digamos, en algunos procesos cósmicos violentos, podrían alcanzar la Tierra. Es decir, vale la pena de buscar sus huellas.

Ultimamente tales búsquedas se realizan intensamente en diferentes medios: la corteza terrestre, los hielos árticos, los depósitos antiguos en el fondo de los océanos y hasta los vidrios y espejos antiguos.

Pero bien puede ser que las mejores condiciones para tales prospecciones existen en nuestra compañera antigua, la Luna...

¿Pero qué partícula colosal pudo dejar en la materia lunar una huella de casi un milímetro de largo? No se excluye que es el misterioso monopolo, una partícula hipotética predicha en 1931 por P. Dirac, célebre físico-teórico inglés.

Como se sabe, las cargas eléctricas, tanto positivas como negativas, pueden existir independientemente unas de otras. En la naturaleza existen electrones y positrones, protones y antiprotones. Al mismo tiempo, las cargas magnéticas, la norte y la sur, están enlazadas inseparablemente entre sí. Nadie jamás pudo crear, o por lo menos observar, el monopolo y antimonopolo, es decir, separar entre sí los polos magnéticos.

Según los cálculos de Dirac, la carga magnética del monopolo debe ser aproximadamente 70 veces mayor que la carga eléctrica de un electrón. Por lo tanto, hasta en los campos magnéticos bastante débiles el monopolo puede adquirir una energía colosal. Por eso, disponiendo del monopolo, podríamos crear, valiéndonos de medios bastante elementales, unos aceleradores

extraordinariamente potentes, sin hablar ya de que la prueba de la existencia del monopolo ayudaría a resolver muchas dificultades en la teoría del origen de los rayos cósmicos, en particular, explicar las energías insólitamente altas de ciertas partículas cósmicas.

Además, según Dirac, los monopolos deben tener unas masas considerables e interaccionar entre sí varias miles de veces más intensamente que las cargas eléctricas elementales. En relación con esto, la separación del monopolo y antimonopolo en forma pura es mucho más difícil que la de las partículas elementales corrientes. Pero, por otro lado, es mucho menor la posibilidad de su mutua aniquilación. Debido a esto, los monopolos podrían servir de excelentes «proyectiles» de la artillería atómica para bombardear diferentes partículas elementales, las cuales pueden acelerarse hasta unas energías enormes y emplearse muchas veces seguidamente. Esto ha atraído a muchos físicos incitándolos a buscar el monopolo, mas estas búsquedas no han dado todavía resultado.

Pero no se trata solamente de las posibilidades prácticas atrayentes que promete la obtención del monopolo. El problema de existencia de partículas magnéticas elementales representa gran interés práctico.

Tanto la detección del monopolo como el descubrimiento de una ley que «prohibe» su existencia tendría igual importancia primordial para el desarrollo de las nociones físicas de la estructura del mundo.

Satélites invisibles para el mundo

Diferentes planetas «poseen» diferente cantidad de satélites. Esta «riqueza» está distribuida en el sistema solar con evidente desigualdad. El

gigante Júpiter tiene 15, Saturno, según ciertos datos, más de 20, y a medida de aproximarse al Sol el número de satélites disminuye bruscamente. Marte tiene sólo dos satélites: los célebres Fobos y Deimos, Mercurio y Venus no los tienen en absoluto.

La Tierra tiene sólo un satélite natural, la Luna.

Por lo demás, hay que precisar lo que puede llamarse satélite. Estamos acostumbrados a que nuestra Luna es un cuerpo esferoidal, pero, hablando en general, los satélites de los planetas pueden ser diferentes. Lo que importa es que estén unidos con el planeta por las fuerzas de gravitación.

En general, ¿en qué estados puede hallarse en el cosmos la materia sólida? En forma de bloques aislados disformes y en forma de... polvo, nubes de polvo. En lo que se trata de los bloques aislados, es bien posible que la Tierra tiene varios satélites semejantes. Pero nadie ha podido registrarlos, aunque existen algunos testimonios indirectos de su existencia.

¿Y los satélites de polvo?

Ya en el siglo XVIII, Lagrange, célebre matemático francés, llegó a la conclusión, investigando el problema sobre el movimiento de tres cuerpos en interacción, de que esos cuerpos, en determinadas condiciones, pueden formar en el espacio un triángulo equilátero bastante curioso.

Es muy natural que con el transcurso del tiempo, cada uno de los tres cuerpos se trasladará por su órbita respecto al centro de masas común. Pero el hecho es que siempre, haciendo estas traslaciones, ellos se quedarán en los vértices de un triángulo equilátero. El propio triángulo se transforma sin cesar, ora comprimiéndose, ora extendiéndose y girando alrededor del centro de masas. Pero en todo caso sigue siendo equi-

látero. De esta manera, en el sistema de tres cuerpos pueden existir «puntos de equilibrio» peculiares.

¿Y si el sistema consta de sólo dos cuerpos, como, por ejemplo, el sistema «Tierra — Luna»? Entonces en éste de todas maneras existe, por decirlo así, el «punto de equilibrio» potencial, que junto con otros dos cuerpos forma los vértices del triángulo equilátero. Y dado que en el plano, en el cual ya sucede el movimiento de los dos cuerpos, siempre se puede construir un par de triángulos equiláteros con dos vértices coincidentes en el lugar donde se hallan esos dos cuerpos, entonces, evidentemente, en el sistema de dos cuerpos siempre deben existir dos «puntos de equilibrio». Aunque hasta cierto momento esos puntos pueden estar desocupados.

Sin embargo, si algún cuerpo se halla en el punto de Lagrange y además pierde instantáneamente la velocidad con respecto a la Tierra y la Luna, entonces como si cayera en una trampa gravitatoria y permaneciera en ésta para siempre o, por lo menos, durante largo tiempo.

Al principio, cuando la «trampa» todavía está vacía, ésta funciona mal: las partículas pasan sin obstáculo a través de la «zona de equilibrio» y van siguiendo su camino. Pero a medida que se llena la «trampa» de materia, el proceso de «captura» se irá acelerando. Ahora las partículas transeúntes pueden chocar con las que ya han caído en sus redes invisibles y, perdiendo la velocidad, aumentar la «pesca».

Aunque este proceso es extremadamente lento, era de esperar que durante muchos centenares de millones de años en los puntos de Lagrange del sistema «Tierra—Luna» tendría que acumularse una cantidad considerable de materia, dado que en el espacio circunterrestre se mueve una multitud de granos de polvo o, posiblemente, de cuerpos más voluminosos.

Ya a principio del siglo en curso fueron descubiertos satélites que se hallan en los puntos de Lagrange del sistema «Sol—Júpiter». Cerca de cada uno de tales puntos los astrónomos descubrieron unos cuantos asteroides.

A todos ellos fueron atribuidos los nombres de los héroes de la épica griega antigua sobre la guerra de Troya. Al mayor grupo se le llamó «griegos», al menor, «troyanos».

No obstante, no se ha podido descubrir satélites análogos de la Tierra, cuya posible existencia se desprendía de la teoría. Es que se puede ver un satélite semejante sólo cuando el punto correspondiente de Lagrange se halla en una zona del firmamento opuesta al Sol y a la vez bastante lejos de la franja clara de la Vía Láctea. Además es necesario que la noche sea sin luna...

Semejantes combinaciones favorables se realizan en la naturaleza muy raras veces. Los astrónomos fotografiaban durante muchos años los puntos de Lagrange sin descubrir trazas algunas de materia sólida. Y sólo hace pocos años se pudo fotografiar los satélites invisibles de nuestro planeta. Resultaron bastante voluminosos: el diámetro de cada uno de ellos es comparable con el de la Tierra.

Por lo demás, la masa de esas nubes de polvo es bastante insignificante en la escala cósmica: sólo alrededor de 20 mil toneladas. Y su densidad es todavía menor: un grano de polvo por kilómetro cúbico. No es de extrañar que era tan difícil descubrirlos.

No obstante, se tendrá que tomar en consideración con seriedad las nubes de materia cósmica ubicadas cerca de los «puntos de equilibrio» al eligir las trayectorias de movimiento de las naves cósmicas.

Por otro lado, es muy seductor crear en los

puntos de Lagrange estaciones cósmicas orbitales. Casi no se tendrá que corregir su posición en el espacio durante largo tiempo. Pero entonces, posiblemente, surgirá la necesidad de desprenderse de alguna manera de la materia acumulada en esas regiones. Podrá resultar peligrosa para las estructuras de la estación y estorbar las observaciones científicas.

¿Existe el movimiento por inercia?

Un papel muy importante en la comprensión de los movimientos de los cuerpos celestes y, en particular, de los planetas del sistema solar desempeñó el descubrimiento de Galileo de la ley de la inercia.

En aquellos tiempos, cuando esta ley era todavía desconocida, el gran Kepler, tratando de hallar la causa que hace girar interrumpidamente los planetas alrededor del Sol, buscaba la fuerza misteriosa que empuja los planetas sin dejarlos parar.

Ahora se sabe bien que el movimiento circular de los planetas se compone de dos movimientos: el movimiento rectilíneo uniforme por inercia y la caída sobre el Sol bajo la acción de la atracción solar.

Pero he aquí una pregunta un poco inesperada: ¿existe en el mundo real el movimiento por inercia?

He recordado para toda mi vida un ejemplo sentencioso. Creo que cursaba en aquel entonces el octavo grado y estudiábamos en las clases de física las tres leyes de Newton.

Nuestro profesor, hombre ingenioso y muy conocedor de la física, vino a la última clase con una linterna de proyección y una caja de diapositivos.

—Ahora voy a mostrar unas imágines— comunicó él. —Representan diferentes situaciones. Vosotros tenéis que verlas con atención y decir cuál de las tres leyes de Newton se manifiesta en ellas. Vamos a empezar...

En la pantalla apareció la primera imagen. Un muchacho corriendo tropieza con una piedra y cae precipitadamente poniendo las manos delante.



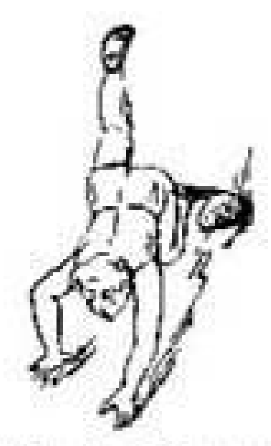


Fig. 12. Ilustración aparente de la primera ley de Newton

—Así pues, ¿de qué ley de Newton se trata?

—De la primera— respondimos a coro unánime.

Y teníamos razones para tal respuesta: es que hacía unos días nos apareció ante los ojos la nota explicativa al juego de diapositivos «Las tres leyes de Newton». Ignoro por quién fue compuesta, pero en la anotación al número uno —«el muchacho que está cayendo»— se decía:

«Ilustración de la primera ley de Newton, la ley de inercia. Un muchacho tropieza corriendo con una piedra, pero la parte superior de su cuerpo sigue avanzando por inercia. Como resultado, el muchacho cae...» O algo por el estilo.

—Supongamos— dijo el profesor. Y me llamó a la pizarra.

Comencé vivamente:

—El muchacho corriendo tropieza con una pierna...

—Así .. entonces, ¿la primera ley?

Asentí con la cabeza.

—Bien. En este caso recordemos cómo se lee.

—Un cuerpo se halla en estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo, hasta que y como no se impulsa por las fuerzas exteriores a cambiar este estado— solté de una vez sin titubear la formulación newtoniana.

—Correcto... Ahora vamos a traducir esto a la lengua física corriente. Si sobre el cuerpo no actúan fuerzas exteriores, su aceleración es igual a cero. ¿No es así?

—¿Y el reposo?— preguntó alguien desde su lugar.— ¿No ha dicho nada de éste?

—El reposo es un caso particular del movimiento cuando la velocidad es nula... Bien, ¿de qué habla y de qué no habla la primera ley? Sólo habla del caso cuando las fuerzas son nulas. Y de lo demás, ¡ni hablar! Y si las fuerzas no son iguales a cero, la primera ley no «sabe» nada de eso.

Era algo nuevo. Hasta aquel día tratábamos simplemente de recordar las formulaciones de las tres leyes y aprender a resolver los problemas. Ahora la primera ley de Newton aparecía ante nosotros como si fuera en una forma distinta. Comprendimos de golpe que la «caída del muchacho» en el cuadro no tiene nada que ver con la primera ley.

Realmente, el muchacho tropezó con un pie contra una piedra. Pero esto no quiere decir que sobre él actuó una fuerza y en el movimiento del muchacho apareció aceleración. Desde ese momento su movimiento dejó de ser uniforme y rectilíneo... Efectivamente, la primera ley no puede decir nada sobre tal caso.

De todo esto se saca una conclusión importante. Se puede hablar del movimiento por inercia sólo cuando sobre el cuerpo dado no actúan ningunas fuerzas en absoluto. O por lo menos

la resultante de todas las fuerzas es igual a cero.

Con frecuencia se suele oír las frases siguientes: «Los motores se desconectaron y el cohete seguía el movimiento por inercia», «El chófer frenó, pero el vehículo seguía deslizándose por inercia sobre el pavimento glacial de la carretera».

¿Son legítimas tales expresiones? Tal vez, sólo en el sentido literario. En realidad, tanto el cohete luego de desconectar los motores como el vehículo después de empezar el frenado se movían con aceleración. En el primer caso esa aceleración (positiva o negativa) fue transmitida al cohete por la fuerza de gravitación de la Tierra, en el segundo, la aceleración negativa fue transmitida al vehículo por la fuerza de fricción entre los protectores de los neumáticos y el pavimento de la carretera.

Si se adopta un punto de vista absolutamente estricto, es poco probable que en general se encuentre en la naturaleza aunque sea un caso de movimiento «por inercia» en forma pura, de pleno acuerdo con la primera ley de Newton. Es que sobre cualquier objeto, dondequiera que se encuentre, siempre actúan las fuerzas de gravitación de numerosos cuerpos celestes.

Se puede tratar sólo de los casos cuando es admisible cierta idealización, es decir, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo dado son tan insignificantes que prácticamente no ejercen ninguna influencia sobre su movimiento.

Pero sin esta reserva importante la primera ley de Newton prácticamente nunca se cumple en la naturaleza: sólo es el caso extremo, el caso límite del movimiento acelerado.

Paradójas orbitales

Como ya sabemos, el movimiento de los cuerpos celestes se funda en las leyes de Kepler y la ley de la gravitación de Newton. Estas leyes se hicieron tan corrientes que uno puede creer involuntariamente que en el movimiento de los objetos cósmicos muchas cosas pueden adivinarse sin cálculos, por decirlo así, cualitativamente, partiendo del contenido físico de las leyes susodichas. En realidad, a veces esto se logra bastante bien. Sin embargo, en una serie de casos los cálculos conducen a unos resultados muy diferentes de los que nos parecían casi evidentes...

Una astronave despega de a bordo de un satélite artificial de la Tierra que se mueve alrededor del planeta por una órbita elíptica. ¿En qué momento es más ventajoso realizar el arranque: cuando el satélite se encuentre en el apogeo o en el perigeo?

Al parecer, la respuesta está completamente clara: por supuesto que en el apogeo: es que cuanto más lejos se encuentre de la Tierra, tanto más débil será la gravitación terrestre, tanto más baja será la velocidad de liberación y, por consiguiente, tanto menor será el gasto necesario de combustible.

No obstante, no debe olvidarse de que, según la segunda ley de Kepler, el satélite se mueve por su órbita con velocidad variable. Es más baja en el apogeo y más alta en el perigeo.

¿Qué es más ventajoso? ¿Una velocidad menor de liberación en el apogeo, pero, en cambio, menor reserva de velocidad inicial o bien mayor reserva de la velocidad inicial en el perigeo, pero también una velocidad más alta de liberación que debe cobrar la nave?

Ningunos razonamientos cualitativos darán

respuesta a esta pregunta: son necesarios cálculos exactos.

Se debe calcular para el apogeo y el perigeo las diferencias entre la velocidad de movimiento del satélite artificial y la velocidad de liberación en el punto dado del espacio circunterrestre y comparar esas diferencias entre sí. Es evidente que se dará preferencia a tal variante de lanzamiento del satélite artificial, para la cual esa diferencia resulte menor.

Veamos un ejemplo concreto. Sea que el lanzamiento de una astronave se realiza a bordo de un satélite artificial de la Tierra que se mueve por una órbita con la altura del apogeo de 330 km y la del perigeo de 180 km.

Hace mucho que los valores de liberación para diferentes alturas están calculadas y reducidas a unas tablas especiales. Consultando tal tabla hallaremos que para la altura del perigeo de la órbita de ese satélite de la Tierra constituye 11040 m/s, y para la altura del apogeo 10918 m/s.

No cuesta mucho trabajo calcular también la velocidad de movimiento del satélite en el perigeo y el apogeo. Constituye 7850 y 7680 m/s, respectivamente.

Ahora calcularemos las diferencias incógnitas. Para el perigeo es 11040—7850 = 3190 m/s; para el apogeo, 10918—7680 = 3238 m/s.

Así pues, el punto más ventajoso para el lanzamiento es no el apogeo, como podría parecer a primera vista, sino el perigeo.

Es curioso que al aumentar la elipticidad de la órbita, las ventajas del lanzamiento en el perigeo crecen aun más y la paradoja de la situación se torna especialmente evidente. Por ejemplo, para una órbita muy alargada con el perigeo a una distancia de 40 mil km de la Tierra y el apogeo situado más allá de la órbita lunar a una distancia de 480 mil km de nuestro plane-

ta, es cuatro veces (!) más fácil alcanzar la segunda velocidad cósmica y escaparse de las «tenazas» de la gravitación terrestre desde la región del perigeo que desde la región del apogeo.

Algo extraño, ¿no es así?

Este hecho demuestra una vez más el carácter ilusivo de muchas nociones evidentes. Por lo demás, huelga señalar que la paradoja de la que se trata es auténtica sólo al comparar la ventaja del lanzamiento de un mismo satélite que gira por una órbita dada.

Es interesante que al bajar un satélite artificial de la Tierra tiene lugar la paradoja inversa. Puede parecer que es más ventajoso poner en marcha el motor de frenado y comenzar el frenado en el momento cuando el satélite pasa el perigeo, es decir, se halla más cerca de la superficie terrestre.

Pero los cálculos muestran que también en este caso el papel principal lo desempeña no la distancia de la Tierra, sino la velocidad de movimiento del satélite por la órbita. Esta es más baja en el apogeo, y por eso es más racional, desde el punto de vista del gasto de combustible, comenzar la bajada precisamente desde la parte de apogeo de la órbita. Es verdad que en el caso dado se trata sólo de un problema un poco idealizado, dado que no se toma en consideración la velocidad de entrada del satélite en las capas densas de la atmósfera terrestre.

Veamos ahora una paradoja astronáutica más que contradice a las nociones corrientes de la mecánica terrestre. Nuestras ideas usuales testimonian de que, cuanto más rápidamente avancemos, tanto menos tiempo necesitaremos para vencer la distancia dada. Para el movimiento de los aparatos cósmicos en los campos de gravitación de los cuerpos celestes esta afirmación no siempre es justa. Por ejemplo, deja

de servir al volar de la Tierra al planeta Venus.

Como se sabe, la Tierra gira por la órbita alrededor del Sol con una velocidad próxima a 29,8 km/s. Por lo tanto, igual velocidad inicial con respecto al Sol tendrá también el aparato cósmico que despega desde la órbita de un satélite artificial de la Tierra. La órbita de Venus está situada más cerca del astro diurno, y para alcanzarla, es necesario no aumentar la velocidad inicial del aparato con respecto al Sol, como, digamos, durante el vuelo a Marte, sino reducirla. Pero ésta es solamente la primera «mitad» de la paradoja. Resulta que cuanto menor sea esa velocidad, tanto más rápidamente el aparato cósmico alcanzará la órbita del planeta Venus. Como muestran los cálculos, siendo la velocidad de partida igual a 27,3 km/s respecto al Sol, el vuelo durará 146 días, y para la velocidad de 23,8 km/s, tan sólo 70 días.

Así pues, nuestras nociones terrestres de costumbre no siempre son aplicables ni mucho menos al movimiento de los aparatos cósmicos.

"Solución de estudio" (ciencia-ficción)

La astronave de transporte «Omicron» cumplía su vuelo rutinario hacia Megos llevando a bordo a doce personas de tripulación y 360 pasajeros. El capitán Meng y el navegante Gascondi observaban en silencio el tablero y ambos comprendían claramente que la situación era irremediable... El error fue cometido en el momento de salir del hiperespacio. Algo falló en el equipo complicado del mando automático de la nave. Una desviación ínfima del programa, fluctuación casi imperceptible que resultó suficiente para que la astronave se encontrase a cinco parsec del punto calculado... Pero allí la esperaba la enana blanca,

una estrellita de enorme densidad y potente gravitación.

Fueron conectados a plena potencia todos los motores. Esta medida sólo salvó a «Omicron» de la caída a un abismo ardiente, pero no fue suficiente para romper las cadenas de la gravitación. Ahora la nave se movía alrededor de la enana por una órbita cerrada a una distancia media de cerca de 20 mil kilómetros del centro de la estrella, y toda la potencia de sus motores no alcanzaba para escaparse del cautiverio. Además, terminaba el tiempo calculado y se agotaban las reservas de energía necesaria para mantener el campo de protección, que contrarrestaba el calor incinerante de la estrella.

—¿Cuánto?— preguntó con dureza Meng sin apartar los ojos del tablero, donde un pequeño punto rojo trazaba una elipse correcta alrededor de la estrella.

El navegante, que hacía mucho que estaba acostumbrado a comprender a medias palabras a su jefe, apretó rápidamente unas teclas en el pupitre del calculador.

—Seis horas y media... ¿Tal vez, mandemos la SOS?

La enana estaba demasiado cerca. Aunque la astronave estaba protegida por el campo de protección, Meng sintió casi físicamente la respiración caliente de la estrella. Todavía era protegida... Pero dentro de seis horas y media la energía se consumirá, y entonces...

—¿No se podría debilitar la protección?— preguntó Meng.

—El campo de todas maneras es mínimo— replicó Gascondi. —¿Qué crees sobre la SOS?

Meng, sin responder, se deslizó en su butaca y cerró los ojos. Ahora tenía que resolver un problema superior a las posibilidades de hasta la computadora más perfecta...

Por supuesto que en la situación formada estaba obligado a mandar la SOS. Lo exigían los «Estatutos cósmicos». Pero Meng sabía con certeza que en su sector no había ni una sola nave capaz de prestar ayuda a «Omicron». La estación más próxima se encontraba en Megos, pero la astronave estaba a tal distancia de éste, que un radiograma corriente la vencería en muchos meses. Para que la señal de socorro llegase a tiempo, sería necesario mandarla a través del hiperespacio. Tal radiotransmisión requería un gasto de energía demasiado grande. Pero la energía era necesaria para la protección contra la enana blanca: ella le daba a «Omicron» segundos y minutos de más.

Pero de todos modos Meng se decidiría a una radiotransmisión hiperespacial si hubiera la menor esperanza. En la flota galáctica había sólo tres o cuatro naves capaces de acercarse en tal situación a «Omicron» para recargar las reservas de su energía o llevarla a remolque sin caer ellas mismas en la trampa gravitatoria. Pero Meng sabía que todas ellas se encontraban ahora en los sectores lejanos y de ninguna manera tendrían tiempo para acercarse a él a tiempo...

—Podemos ganar un poco de tiempo— dijo Gascondi. —Unos treinta minutos...

El capitán miró interrogatoriamente al navegante.

—Si se quita la gravedad artificial— explicó Gascondi.

—No— dijo decididamente Meng. —Entre los pasajeros hay mujeres y niños...

He aquí un problema más, que nadie puede resolver menos el jefe de la nave. ¡Los pasajeros! Ahora descansan tranquilamente en sus compartimientos totalmente seguros de que dentro de un par de días llegarán felizmente al lugar de destino. Y ninguno de ellos no tiene ni una som-

bra de sospecha de que apenas seis horas y media separan la nave de una catástrofe fatal... ¿Debo informar a los pasajeros sobre lo sucedido? ¿O dejar que estén en ayunas hasta el final?

Durante su largo servicio cósmico el capitán Meng cayó más de una vez en situaciones críticas. Pero eran situaciones que tenían salida. Entonces todo lo decidía la experiencia e ingenuosidad del jefe: era necesario en contados segundos hallar una solución óptima. Y hasta este momento Meng siempre la encontraba.

Pero ahora no había salida. Lo testimoniaba inexorablemente un cálculo fácil que lo podía hacer un estudiante cualquiera. Y nada ya dependía del capitán Meng. Podía aplicar cualesquiera medios, pero el final de todas maneras era el único.

Esto quería decir que debían someterse a su destino y esperar con resignación hasta que el aliento incinerante de la estrella convirtiese a «Omicron» en una llamarada brillante.

¿Rendirse sin lucha?.. Jamás en su vida sufrió Meng algo semejante. «Pero esto sucede sólo una vez»— sonrió amargamente Meng para sí.

No, hay que luchar de todas maneras. No rendirse de ningún modo. Hasta cuando la situación parece irremediable.

—¿Has calculado todas las posibilidades?— preguntó él mirando al navegante.

Gascondi volvió lentamente la cabeza. Por primera vez desde el momento cuando el tablero había comunicado sobre la catástrofe inminente se miraron a los ojos. Gascondi se encogió de hombros:

—Tú mismo conoces todo...

—Pero de todas maneras hay que revisar todas las variantes.

—¡Pero sí es un caso elemental!— estalló Gascondi. —¿Qué variantes pueden existir?...

El capitán Meng lo comprendía no peor en absoluto que su navegante. Una situación clásica investigada al dedillo ya en el alba de los vuelos cósmicos y que hacía mucho que no interesaba a nadie. Los medios de navegación más modernos libraron a los astronautas de semejante amenaza. Por lo menos, durante los últimos cincuenta años ni una sola nave había caído en las trampas gravitatorias. Solamente «Omicron» no tuvo suerte.

¿Pero tal vez precisamente en esto radica su única posibilidad? En que hacía mucho que no se ocupaban teóricamente de ese problema. Es que la ciencia no está estancada. Y si se analiza una vez más desde las posiciones del conocimiento moderno la situación irremediable en que se han resultado, quizás se halle una variante no considerada por la navegación clásica.

En todo caso, hay que buscar. ¿Pero cómo convencer a Gascondi? Es un excelente navegante y trabaja sin errores. Meng no recordaba ni un sólo caso cuando Gascondi se hubiera apartado en algo de la «Instrucción». Pero precisamente éste era su punto débil. Quien comete errores y sabe remediarlos, tiene que actuar, quiera o no, en las situaciones imprevistas. Pero Gascondi adoraba sólo un diós impecable y omnipotente: la «Instrucción».

«Por desgracia—, pensó con pena el capitán —su mente no está programada para el descubrimiento de lo nuevo...» Y además pensó con lástima en que siempre estaba más entusiasmado por el lado de la ingeniería del asunto, prestando mucho menos atención a la teoría del movimiento de las astronaves. Conocía, por supuesto, bastante bien los fundamentos y podría sustituir totalmente, en caso necesario, a Gascondi, pero ahora estos conocimientos no eran suficientes...

—¿Propones esperar?— preguntó Meng dándole las espaldas.
—¿Estar sentados aquí esperando hasta que se acabe?..
—Propongo mandar la SOS— repitió con aire sombrío el navegante—. Así como lo exige la «Instrucción».
—No— cortó Meng. —Ya tendremos tiempo para comunicar sobre nuestra muerte. Todavía estamos obligados a emprender algo... Hasta en contra de todas las instrucciones.
Gascondi apretó los labios con aire ofendido.
—Quisiera ver...
Meng se puso de pie y se acercó a la butaca del navegador:
—Vamos a pensar juntos. A ver si...
No advirtieron como en el cuarto de navegación entró Verin, y lo vieron cuando ya estaba cerca del cuadro principal examinando el tablero.
Generalmente, estaba prohibido terminantemente a los pasajeros entrar en el cuarto de mando. Pero Verin no era un pasajero cualquiera. La estructura de «Omicron» se basaba en una teoría física creada por él. A Verin le pertenecía un sinnúmero de ideas originales que habían ejercido una influencia ostensible sobre el desarrollo de la física y la astronomía. Se proponía dar un curso de conferencias sobre la teoría del hiperespacio en la Universidad de Megos.
Pero, de todas maneras, volaba Verin en «Omicron» como pasajero, y Meng pensó con inquietud en que su situación desastrosa dejó de ser ahora un secreto.
—Una situación curiosa, ¿no es así?
Dado el estado de las cosas, estas palabras sonaron un poco extraño, y fueron pronunciados con cierto matiz imperceptible bien de sarcasmo, bien de una satisfacción incomprensible.
Gascondi sólo se encogió de hombros.

—¿No alcanza la potencia?— preguntó Verin apartando por fin la vista del tablero.

—Usted mismo lo ve—gruñó Gascondi no muy cortésmente.

—¿Y la protección térmica se agotará dentro de unas horas?

—Dentro de seis horas y media— respondió maquinalmente Meng.

—Así— alargó indeterminadamente el teórico—. M-m, así...

En sus ojos hundidos centellearon chispas de ardor, y en este momento hizo recordar a Meng, sin querer, a un cazador que de pronto vio un animal raro. Al parecer, nada le interesaba a Verin que en la situación creada precisamente él era la caza menor... Su mirada se apagó y se concentró a lo lejos, como si Verin tratase de ver a través de la pared no transparente de la astronave algo oculto en la profundidad del cosmos y accesible sólo a él.

—No en vano se dice— pensó Meng— que vive sólo de la ciencia.

Pero Verin vivía no sólo de la ciencia. Al ver el tablero, pensó ante todo en su vieja madre que se había quedado en la Tierra. ¡Qué pena le daría la muerte del hijo!.. Dentro de un instante su mente ingeniosa empezó a buscar una salida. Verin, con un esfuerzo habitual de la voluntad, dejó a un lado todo menos las condiciones del problema insólito planteado por la coyuntura absurda. Del problema, que según todos los cánones existentes no tenía solución positiva. Pero toda su vida Verin resolvía precisamente tales problemas...

—¿Puedo utilizar su calculador?— preguntó él saliendo por un segundo de la meditación.

—Pero, de todas maneras... —intentó empezar Gascondi.

Meng le puso silenciosamente la mano sobre el hombro.

No obstante, Verin, por lo visto, no prestó ninguna atención a ese pequeño incidente. Sin perder tiempo, se acercó al cuadro y empezó a apretar una trás otra varias teclas, mirando cada vez al dispositivo de salida.

Meng trató de seguir sus cómputos, pero muy pronto perdió el hilo. Sólo tuvo tiempo de comprender que los cálculos de Verin no tenían enlace directo con su situación.

«Es extraña nuestra conducta, absurda —pensó de repente Meng—. Nos restan por existir sólo seis horas, y Gascondi se preocupa de las instrucciones, Verin se entusiasmó con algún problema teórico, y yo los observo con paciencia como si nada ocurriese... Quizás, puede ser que el valor del tiempo es relativo: ¿.ambién seis horas, si son seis horas hasta el final, no son tan poco?»

El teórico se apartó de pronto del tablero y preguntó, mirando al navegante:

—¿Usted cree que el problema es insoluble?

Gascondi, lleno de amor propio, miraba atentamente a Verin: ¿no hay mala pasada?..

—Es un caso elemental —pronunció él por fin, mirando hacia un lado indeterminado—. Hay dos fuerzas, a saber: la gravitación de la enana y nuestro empuje... Aquí todo está claro. Es evidente que el empuje no alcanzará para desarrollar la segunda cósmica.

—Pues bien —balbuceó Verin—. La posibilidad de la resolución del problema depende de cómo está formulado. Este problema, tal como está planteado—, indicó con la cabeza al tablero— es insoluble de verdad.

—Lastimadamente, no fuí yo quien planteó este problema— iba a replicar Gascondi.

Sin embargo, Verin ya no lo oía... De nuevo

se puso a meditar desprendiéndose momentáneamente de las cosas que lo rodeaban...

En este momento Meng por primera vez sintió la esperanza. Comprendía mejor que nadie que sólo una maravilla podía salvarlos ahora. Y como tales no existían, era necesaria una solución superoriginal, inesperada, extraordinaria. Sólo de Verin podía esperarse algo semejante, si en general alguien podía hacer algo.

El capitán miró con respeto al teórico. ¿Quién podría pensar? Pequeño, enjuto, con una nariz aguda, nada de titán. ¿Cómo sabe ver lo que no pueden los demás?

—¿Conoceis la anécdota sobre el perro? —preguntó de repente Verin.

Y como ambos astronautas seguían callados, continuó:

—Imagínese —dijo un físico a otro— que a un perro le ataron a la cola una sartén metálica. Si el perro echa a correr, la sartén ha de golpear sobre el pavimento. ¿Con qué velocidad debe correr el perro para no oir el sonido?.. Y, por extraño que parezca, aquel otro físico no pudo hallar respuesta a la pregunta...

—Usted cómo cree, ¿con qué velocidad debe correr el perro? —preguntó de pronto Verin y, sonriendo enigmáticamente, lanzó una mirada fija a Gascondi.

—No sé —murmuró quedamente el navegante y miró con súplica a Meng. Se veía que apenas se contenía...

Pero, encontrando una mirada tensa del capitán, Gascondi todo se encogió y, rechinando los dientes, soltó sin gana:

—Por lo visto, debe correr con una velocidad supersónica...

—Así, así—se echó a reir Verin.— Así mismo supuso aquel físico... Pero la respuesta correcta es absolutamente sencilla: la velocidad del perro

debe ser nula... Es elemental... La cosa es que el problema ha sido formulado así: ¿cuál debe ser la velocidad? La velocidad... Aquí está el quid de la cuestión. Hasta los físicos a veces se olvidan de que la velocidad nula también es una velocidad...

El recto y sencillo Gascondi lo miraba a Verin con unos ojos muy abiertos. Meng también se sentía un poco incómodo, aunque comprendía muy bien que ese anécdota lo necesitó el teórico no para divertirse, sino como una tregua peculiar. Ahora funcionaba la subconciencia dejando descansar a la conciencia.

«Por lo demás —pensó Meng—, no en vano le vino a la cabeza precisamente ese anécdota... ¿Tal vez, ya ha palpado algo a pesar de todo?»

Y, como confirmando su suposición optimista, Verin de nuevo se metió de naricos al tablero; apretando de manera graciosa, como un niño, los labios, comenzó a jugar virtuosamente en el teclado.

Meng y Gascondi aguardaban en silencio. Por fin, Verin se desprendió de las teclas y suspiró, ora con alivio, ora con decepción, pero en sus ojos grises entornados de nuevo brillaron chispas despreocupadas.

—¿Juega al ajedrez?—se enteró con tono prosaico.

—Sí —respondió Meng.

—¿Sabe lo que es una solución de estudio? La posición está completamente perdida, pero hay una jugada que, al parecer, conduce aceleradamente a la derrota. Pero precisamente esa jugada extraña trae la victoria...

Ahora Meng sabía justamente que Verin halló una salida.

—¿Y qué? —preguntó él incapaz de retener la impaciencia.

Verin miró atentamente al capitán.

—Debemos hacer una jugada de estudio —pronunció lentamente, como si pesara algo una vez más.

En el cuarto reinaba el silencio. El capitán estaba inmóvil apretando el respaldo de su butaca.

—Es necesario conectar el empuje —dijo Verin. Esbozó rápidamente en una hoja unas cifras y alargó el papelito a Meng.

—Pero —balbuceó confusamente Gascondi— esto no dará absolutamente nada. A menos que haga más alargada la órbita.

—Eso es —dijo Verin.

—Pero el empuje consumirá toda la energía. Y, por lo tanto, la protección térmica...

—Espera—cortó Meng. «Da igual —pensó él—, dentro de seis horas o dentro de tres...»

Pero en su interior el capitán Meng tenía confianza en Verin. Alargó sin vacilar la mano al cuadro principal y cambió una tras otra en unas divisiones las cuatro palancas rojas.

Gascondi palideció.

Se oyó el zumbido característico de los motores, chasquearon los relés de protección contra la sobrecarga.

—¿Tal vez ahora Usted explique? —pidió Meng.

—Si no me equivoco —comenzó lentamente Verin—, ¿la «Omicron» consta de dos partes aisladas?

—Efectivamente —confirmó Meng—. En una de ellas se halla el complejo de mando y los motores, en la otra, los camarotes y cuartos auxiliares.

—¿Y es posible desacoplar esas partes y separarlas a una distancia considerable?

—Sí, tal posibilidad está prevista para el caso de avería o bien la reparación del grupo propulsor. Ambas partes se separan y se acoplan con ayuda de un «pulsador» especial.

—¿Cuál es la distancia máxima entre ellas?
—Ciento cincuenta kilómetros.
—Basta con ciento cuarenta — murmuró Verin.
—¿Quiere deshacerse de la sección de pasajeros? —habló por fin Gascondi—. Pero de todas maneras, el empuje no alcanza.
—No —replicó enérgicamente Verin—. Sería demasiado fácil. La enana no nos soltará tan fácilmente... La idea es completamente diferente.
—Estamos perdiendo el tiempo —se intercaló Meng—. Tal vez...
—Oh! Tenemos tiempo de sobra —dijo con impasibilidad Verin—. Pues... ¿vosotros conocéis, por supuesto, la idea de la astronave pulsatoria?
Gascondi y Meng se miraron con perplejidad.
—Sí —notó Verin—. Es una idea muy antigua y hace mucho tiempo que está en abandono...
—Empiezo a recordar algo confusamente —pronunció lentamente Meng—. Lo encontré en manuales viejos... Si no me equivoco, la cosa es que la nave cósmica no es un punto, y su masa está distribuida en cierto volumen.
—Así es —se animó Verin—. Si nuestra astronave se separa en dos partes, la resultante de las fuerzas de gravitación, aplicadas a éstas, resultará menor que la fuerza que ahora actúa sobre «Omicron».
Hablaba de una manera clara y bien comprensible, como si diese una conferencia a los estudiantes.
—¿Esto quiere decir —continuó Meng— que sobre la astronave alargada actúa la fuerza de repulsión?
—Si ambas partes se unen en el apogeo y se separan en el perigeo, «Omicron» abandonará la órbita kepleriana y empezará a moverse por una espiral desenrollada.

—Mira... —alargó Meng.

Me he acordado también —dijo de repente Gascondi en tono excitado—. ¡magnífico, excelente, genial! —se echó a reír nerviosamente—. Pero, si no recuerdo mal, hasta para vencer con tal método la gravitación terrestre, la nave necesita varios años. ¿Y la gravitación de la enana?..

—Ahí está el detalle —pronunció con impacibilidad Verin. «Es asombroso —pensó el capitán—, ¿cómo este hombrecito delicado sabe conservar una tranquilidad absoluta en una situación tan complicada? Quizás, puede ver mucho más allá que los demás...»

—Ahí está el detalle —repitió Verin—. En el caso dado la gravitación trabaja para nosotros. Cuanto más maciza es una estrella o un planeta, tanto más rápidamente será alcanzada la velocidad de liberación. ¡Ahí está la paradoja!

—¿Y cuantas horas necesitaremos? —preguntó Meng.

—Creo, ... una hora y media, no más.

—Es Vd. un genio—sonrió el capitán ocupando su puesto cerca del tablero.

—Sólo nos resta eligir los momentos óptimos para la separación y la aproximación —advirtió Verin.

—Comprendido —replicó Meng mientras apretaba las teclas del calculador—. Empiezo la operación dentro de seis minutos...

Era un espectáculo nunca visto. La gigantesca astronave como si se dividiera en dos partes. Ora se alejaban separándose una de otra, ora se acercaban de nuevo haciéndose un todo. En el proceso de esta «danza cósmica» sin precedente, la órbita mortal, por la cual se movía «Omicron», empezó a retorcerse poco a poco.

El elemento potente de la gravitación, al dominarse a la fuerza del intelecto humano, alejaba con seguridad la astronave de la terrible estrella.

La gravitación contra.. la gravitación

Los autores de las novelas de ciencia-ficción se valen gustosamente de diferentes pantallas capaces de proteger de la acción de las fuerzas de gravedad. Lastimadamente, en realidad tales pantallas hasta ahora no existen, y para vencer la fuerza de gravitación de la Tierra, una nave cósmica debe acelerarse con ayuda de un motor cohete. ¿Acaso no es posible utilizar para este fin no el motor, sino... la gravitación terrestre?

Parece extraño: precisamente la gravitación de la Tierra impide que una astronave salga al espacio mundial... Pero, por paradójico que parezca, por lo menos en un caso tal variante es posible. Fue mostrado esto por los científicos soviéticos V. V. Beletski y M. E. Guiverts.

Es que en todos los cálculos enlazados con el movimiento de las astronaves, éstas se toman corrientemente por un punto material. Y con plena razón: el tamaño de la nave es ínfimo en comparación con el de lo cuerpos celestes.

Pero hablando estrictamente, la nave de todas maneras no es un punto, sino un cuerpo de extensión que tiene dimensiones y forma bien determinadas. Por eso la fuerza de gravitación real que actúa sobre ésta por parte de la Tierra, difiere un poco de la fuerza que actuaría sobre ésta en el caso en que toda la masa de la nave estuviera concentrada en un punto. La verdad es que para las naves y los satélites corrientes la diferencia es tan pequeña, que puede omitirse con tranquilidad.

Pero tal diferencia puede hacerse bastante ostensible con una condición: si la nave cósmica tiene una longitud considerable.

Veamos, por ejemplo, una nave que consta de dos esferas unidas mediante una barra o un cable

perpendicular a la prolongación del radio de la Tierra. En este caso, sobre cada una de las esferas actúa una fuerza de gravitación dirigida bajo un ángulo a la barra de unión. No es difícil calcular la resultante de esas fuerzas según la regla del paralelogramo. Un cálculo relativamente simple muestra que esa resultante es un poco menor que la fuerza de gravitación que actuaría sobre el centro de la barra si en ésta estuviera concentrada toda la masa de la nave insólita.

Con otras palabras, resulta que el «alargamiento» de la nave equivale a la aparición de cierta fuerza radial de repulsión. Por lo tanto, su movimiento alrededor de la Tierra se producirá en una órbita que difiere un poco de la corriente «kepleriana».

Este hecho puede utilizarse ingenuosamente. Hagamos de la manera siguiente. Elijamos tal estructura de nuestra nave que se pueda aproximar lo suficientemente rápido las esferas una a otra y separarlas de nuevo a gran distancia.

Unamos las esferas en el momento de alcanzar la nave el punto más alejado de la órbita, el apogeo. Desde ese momento la nave se convierte prácticamente en un «punto material», y su movimiento ulterior ha de seguir la órbita «kepleriana».

Realicemos en el perigeo la operación contraria: separemos las esferas a la distancia anterior. Entonces surgirá la susodicha «fuerza de repulsión». La órbita del movimiento ulterior resultará un poco más alargada que la «kepleriana» correspondiente. Como resultado, en la segunda vuelta la distancia del apogeo será un poco mayor que en la primera.

Repitamos toda la operación una vez más y aumentemos de nuevo la distancia del apogeo. Aplicando tal práctica en adelante, haremos moverse a nuestra nave-satélite por una espiral

desenrollada hasta que no salga del campo gravitatorio de la Tierra.

Pero las posibilidades teóricas no siempre son compatibles con las prácticas. En fin, ¿cuánto tiempo se necesitará para la aceleración mediante ese método peculiar de «pulsaciones»?

Según los cálculos de V. V. Beletski, en el caso cuando una nave de 140 km de largo empieza el movimiento a una distancia de 2 mil kilómetros del centro de la Tierra, para la aceleración por el método descrito más arriba se necesitara alrededor de dos años.

80 años se necesitarán para que una nave igual salga de la esfera de gravitación del Sol, siendo la distancia inicial cerca de 700 mil km del centro diurno.

Pero hay una paradoja más. Cuanto mayor es la masa del cuerpo celeste y cuanto más cerca de éste se halla la astronave, tanto más rápidamente se puede «romper» las cadenas de la gravitación con ayuda del método de «pulsaciones».

En las páginas de las novelas de ciencia-ficción se encuentran no pocas veces situaciones trágicas, cuando las naves cósmicas se hallan cautivadas por alguna estrella maciza. Los cálculos de Beletski muestran que si se aplica el método de pulsaciones, la nave puede alcanzar rápidamente la segunda velocidad cósmica en el caso cuando ella se mueve alrededor de tal estrella. Así, al encontrarse a la distancia de veinte mil kilómetros del centro de la estrella superdensa conocida, la enana blanca Sirio B, la astronave podría salir al cosmos por una espiral desenrollada tan sólo dentro de una hora y media.

Otra cosa es en qué grado un proyecto semejante es realizable en la práctica: ¿es posible crear una astronave pulsatoria? Esto es un asunto de la técnica del futuro. En todo caso, la posibilidad teórica de principio existe,

"Coincidencia extraña"

Hay en el sistema solar una ley curiosa... Ya hemos mencionado que la Luna siempre está vuelta a la Tierra por un lado. Nuestro satélite natural hace aproximadamente en 28 días una vuelta alrededor de la Tierra, y durante el mismo lapso de tiempo hace una vuelta alrededor de su propio eje.

Precisamente gracias a la coincidencia de los períodos orbital y de rotación de la Luna vemos siempre sólo un lado del globo lunar. ¿Es pura coincidencia?

Hablando en general, la naturaleza no «quiere» mucho las coincidencias casuales de tal especie, y éstas no se encuentran muy a menudo. Esto se comprende: es que la probabilidad de realización de las coincidencias complejas puramente casuales es, como regla, extremadamente pequeña. Y si de todas maneras encontramos en la naturaleza alguna combinación asombrosa de hechos, entonces, las más de las veces, ésta tiene alguna ley encubierta.

El «comportamiento» de la Luna no es una exclusión: algo semejante encontramos en otros cuerpos celestes que integran el sistema solar. Así, Mercurio, el planeta más próximo al Sol, hace una vuelta alrededor de éste durante 88 días terrestres, y una vuelta alrededor del propio eje durante 59 días. Al parecer, no hay ningunas coincidencias. Pero es que de acuerdo con la segunda ley de Kepler, los planetas se mueven por sus órbitas elípticas con una velocidad variable: cuanto más cerca del Sol, tanto más rápidamente. Así pues, si se calculan las velocidades angulares en el movimiento de Mercurio, resulta que la velocidad angular de su propia rotación coincide con la velocidad angular de su revolución alrededor del Sol en el momento

cuando el planeta pasa la parte de su órbita más próxima al astro diurno.

Una coincidencia aun más complicada se descubre en el movimiento de Venus. Como ya sabemos, este planeta hace una vuelta alrededor

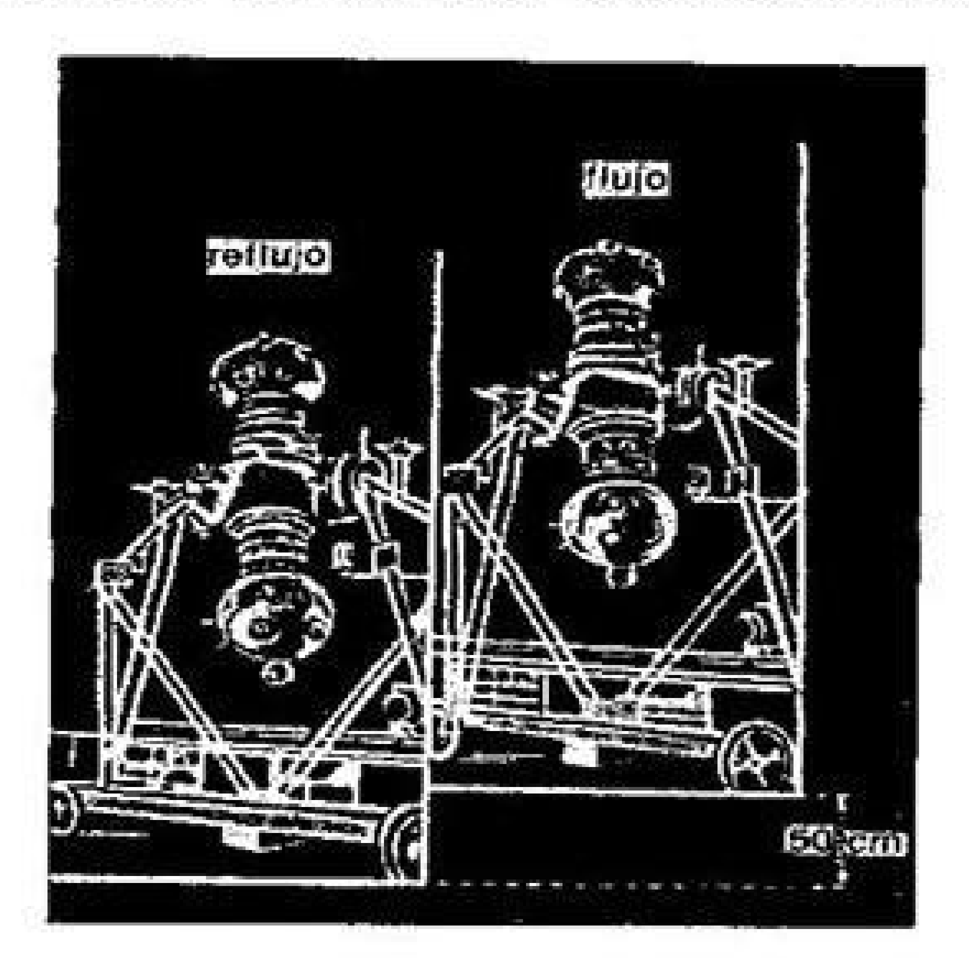


Fig. 13. El valor de la marea lunar en la materia sólida de la Tierra en la región de Moscú

del Sol durante 225 días terrestres. Dentro de cada 584 días Venus se halla en la línea que une el Sol y la Tierra.

También en este momento Venus está vuelta a la Tierra con un mismo hemisferio.

¿Cuál es la causa de todas estas «coincidencias»?

Todos conocemos el fenómeno de las mareas lunares. La gravitación lunar forma en la capa acuífera de la Tierra dos «jorobas». Como nuestro

planeta gira, estas jorobas se trasladan por su superficie: corre la onda de marea. Las mareas suceden no sólo en la capa acuífera, sino también en la materia sólida de la Tierra. Así, gracias a las mareas, el suelo en Moscú sube y baja dos veces al día en 40...50 cm aproximadamente. Dado que las ondas de marea se trasladan en contra de la rotación diaria de la Tierra, la están frenando inevitablemente, y la velocidad de rotación de nuestro planeta disminuye poco a poco. En cierto tiempo los días terrestres eran mucho más cortos que los contemporáneos.

Pero si en la Tierra suceden las mareas lunares, también en la materia de la Luna deben suceder las mareas terrestres, mucho más potentes, ya que la Tierra tiene una masa 81 veces mayor que la masa de la Luna. Gracias a esto, la deceleración de la rotación propia de la Luna tenía que suceder bastante rápidamente hasta no cesar por completo esa rotación con respecto a la Tierra. Ahora la Luna está condenada a «mirar» a la Tierra siempre con un lado.

Por lo visto, la acción de la misma causa condujo también a la igualdad de las velocidades angulares de rotación y orbitales de Mercurio en el punto de su órbita más próximo al Sol. La fuerza de gravitación decrece rápidamente con la distancia, proporcionalmente a su cuadrado, siendo por eso insignificantes las mareas solares en comparación con las lunares. Sin embargo, para Mercurio, el planeta más próximo al Sol, estas mareas, posiblemente, sean bastante fuertes y sean capaces de influir ostensiblemente sobre su rotación. La coincidencia de las velocidades angulares, ya citada anteriormente, es también, lo más probable, la consecuencia del frenado por marea.

En lo que se refiere a Venus, la causa de su orientación constante con respecto a la Tierra

en los períodos de máxima aproximación sigue todavía sin aclarar. No se sabe hasta el momento si es normal este fenómeno o nos hemos encontrado con una coincidencia puramente casual. Tal vez desempeñe algún papel la circunstancia de que en los períodos de aproximación Venus se halla mucho más cerca de la Tierra que del Sol. No obstante, la solución de este enigma pertenece al futuro.

¿No nos amenaza una catástrofe?

Podría pensarse que nada en el Universo tiene una estructura más simple y segura que nuestro sistema solar. El papel decisivo aquí lo desempeña una fuerza: la fuerza de gravitación; el movimiento de cada uno de los planetas alrededor del Sol obedece unas leyes claras y unívocas: las leyes de Kepler; este movimiento sucede casi en un mismo plano común para todos los planetas, a excepción de Plutón.

Pero la realidad no es tan simple. Es que sobre cada planeta actúa no sólo la gravitación solar, sino también la fuerza de atracción de los demás planetas del sistema solar. Esta atracción provoca perturbaciones en el movimiento de cada uno de los planetas. El planeta se desvía un poco de su ruta normal, prevista por las leyes de Kepler, regresando, sin embargo, de nuevo a ésta. Si se toma en consideración que la disposición mutua de los planetas varía constantemente, será evidente que el cuadro general de su movimiento es bastante complicado.

Aquí surge una pregunta legítima. ¿Pueden las perturbaciones de los movimientos planetarios llevar a una catástrofe inminente? ¿Hay garantía de que cada vez, descarrilando de la vía cósmica invisible, el planeta retornará obligatoriamente a su órbita «natal»? ¿Y si la desvia-

ción resulta demasiado grande? ¿Puede todo ese «balanceo interior», la vibración peculiar, conducir a la descomposición total del sistema solar?

Sólo los cálculos pueden responder al problema planteado. Hay que calcular el movimiento de cada planeta tomando en consideración todas las perturbaciones posibles provocadas por la influencia de otros planetas, entonces todo estará claro.

Pero de dicho a hecho hay gran trecho. Por supuesto, en principio semejante problema tiene solución, por lo menos con cierto grado de precisión. Los desplazamientos de los cuerpos celestes son dirigidos por las fuerzas de gravitación que actúan entre éstos. El valor de esas fuerzas depende de la masa de los cuerpos celestes y sus distancias mutuas. Además, el desplazamiento ulterior de cualquier cuerpo se determina también por la velocidad que éste tiene. Puede decirse que en el estado moderno del sistema de cuerpos celestes, es decir, en sus posiciones mutuas y velocidades, está encerrado unívocamente (de nuevo con cierto grado de precisión) su futuro. Por eso el problema consiste en, conociendo la disposición mutua y las velocidades de los planetas en el momento dado, calcular sus desplazamientos futuros. No obstante, el aspecto matemático de este problema es muy complicado. Es que en cualquier sistema de cuerpos cósmicos en movimiento sucede la redistribución constante de las masas, debido a lo cual varían el valor y la dirección de las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo. Incluso para el caso más simple de movimiento de tres cuerpos en interacción no existe hasta hoy día una solución matemática completa en forma generalizada.

Sólo se logra obtener la solución exacta de este problema, conocido en la mecánica celeste bajo

el nombre de «problema de los tres cuerpos», en algunos casos cuando existe la posibilidad de introducir ciertas simplificaciones.

Aun más complicado es el cálculo absolutamente exacto de nueve planetas del sistema solar que interaccionan y se trasladan continuamente; es superior a las fuerzas de hasta las matemáticas modernas con su técnica de cálculo potente.

¿Pero acaso es necesario un cálculo absolutamente estricto y exacto para responder a la pregunta? Al fin y al cabo, no es tan importante conocer todas las posiciones mutuas futuras de los planetas, como obtener la respuesta a una sola pregunta: ¿pueden o no las perturbaciones planetarias rebasar cierto «límite crítico», más allá del cual empezará la descomposición irreversible del sistema solar? Con otras palabras, nos interesa la solución cualitativa del problema y no cuantitativa.

Entre las nociones de «cuantitativo» y «cualitativo» hay una diferencia considerable. La solución cuantitativa muestra *cuántas veces* varían unas magnitudes físicas en función del cambio de otras. En cambio, la solución cualitativa da sólo una idea de cuales son las *direcciones* o dentro de qué *límites* varían las magnitudes que nos interesan, siendo determinada la variación de otras magnitudes.

En una serie de casos este conocimiento es absolutamente suficiente. A ellos pertenecen muchos problemas de estabilidad. Transcurre, digamos, cierto proceso químico. Hay que saber qué desviaciones de los parámetros dados son admisibles para excluir la posibilidad de una explosión.

U otro problema: calcular la estructura de un puente de ferrocarril de tal manera que ningunas oscilaciones, que surgen durante el movimiento del transporte conduzcan a fenómenos capaces de

exceder el margen de seguridad de la obra. En ambos casos no hay necesidad de calcular todos los estados intermedios del sistema, basta con establecer el vínculo entre las variaciones de ciertas magnitudes iniciales y finales.

El problema sobre las perturbaciones planetarias también es un problema de estabilidad, la estabilidad del sistema solar. También admite una solución cualitativa.

Un problema semejante fue resuelto por primera vez por A. M. Liapunov, gran matemático ruso, quien pudo mostrar que las perturbaciones mutuas de los planetas no pueden superar el límite crítico, cualesquiera que sean sus posiciones imaginables. Así pues, ningunas fuerzas interiores e interacciones pueden «balancear» el sistema solar y conducirlo al borde de descomposición.

El Sol y el neutrino

Ya hemos dicho que nuestro astro diurno, el Sol, es una «caja negra», en el cual los astrónomos pueden observar solo la «salida». Todos los datos de los cuales dispone la astronomía moderna sobre el Sol fueron obtenidos gracias a la investigación de diferentes radiaciones que surgen en las capas más superiores de nuestro astro diurno. No obtenemos ninguna información directamente de las entrañas del Sol. De esta manera, la teoría de la composición interior del Sol, de acuerdo con la cual su energía se mantiene por las reacciones termonucleares, es, hablando estrictamente, sólo un modelo teórico.

Por lo demás, la expresión «sólo» no es muy conveniente en el caso dado. La teoría termonuclear explica bastante bien los procesos de la evolución estelar y se halla en buena concordancia con las características físicas observadas del

Sol y las estrellas. Pero de todas maneras, como cualquier modelo teórico de la «estructura» interior de una «caja negra», esa teoría necesita no sólo testimonios indirectos, sino también confirmaciones directas, para lo cual es imprescindible la información obtenida directamente de las entrañas estelares.

En un principio, en los últimos años tal posibilidad ha aparecido. Se trata de la llamada «astronomía del neutrino» o, mejor dicho, la «astrofísica del neutrino».

El neutrino es una partícula «no atrapable» que participa directamente en las reacciones termonucleares. En particular, los neutrinos se forman en el proceso de las transformaciones termonucleares del hidrógeno en el helio, las cuales, según las nociones modernas, sirven de fuente de energía interestecar. La energía de esas partículas y el valor de su flujo dependen de la temperatura y el carácter de las reacciones nucleares.

Mientras que el fotón, que se ha formado en las entrañas del Sol, experimenta, antes de escaparse fuera, alrededor de 10 mil millones de colisiones, los neutrinos, que tienen un enorme poder de penetración, atraviesan todo el espesor de la materia solar, prácticamente sin obstáculos y alcanzan la Tierra. Si pudiéramos «captar» los neutrinos solares, en cierto sentido «veríamos» lo que sucede en el centro del Sol. Pero el neutrino puede observarse sólo indirectamente, haciéndolo reaccionar con otras partículas y registrando los resultados de tales reacciones.

De reacción nuclear conveniente puede servir la reacción del neutrino con el núcleo de uno de los isótopos del cloro, con el peso atómico 37. Captando el neutrino, tal núcleo se convierte en el núcleo del isótopo del argón-37. En este caso se forma un electrón que puede registrarse mediante los métodos bien conocidos por los físicos.

Además, el argón-37 es radiactivo, es decir, dentro de ciertos lapsos de tiempo se puede medir que cantidad de éste se ha acumulado.

Pero además es necesario «desintonizarse» de otras radiaciones cósmicas, las cuales también pueden provocar la reacción nuclear de transformación del cloro en argón. Para deshacerse de tales interferencias, es necesario realizar todas las mediciones en la profundidad de la tierra, donde notoriamente no pueden penetrar las partículas cósmicas corrientes.

La idea del «detector de cloro» para el registro de los neutrinos solares fue propuesta por el académico Bruno Pontecorvo, físico soviético de renombre, y realizada por el físico norteamericano R. Davis y sus colaboradores. En calidad de «telescopio de neutrino» sirvió una enorme cisterna llena de 600 toneladas de percloroetileno, un líquido completamente prosaico utilizado para limpiar el vestido. Los aparatos fueron instalados en una mina de oro abandonada en el estado de Dacota del Sur, cerca de la ciudad de Homestake.

Las observaciones se realizaron durante largo tiempo por varias series y dieron un resultado inesperado. El número de actos registrados de reacción resultó muy inferior al predicho por la teoría.

Para la explicación fueron propuestas diferentes hipótesis, entre ellas bastante extravagantes. Por ejemplo, algunos científicos supusieron que el reactor termonuclear solar funciona en el « régimen de impulsos ». En virtud de unas particularidades determinada del transcurso de los procesos físicos en las entrañas del Sol, la reacción termonuclear cesa de trecho en trecho. Entonces el Sol ilumina debido a las reservas de energía acumuladas en el ciclo anterior. Recordemos que los fotones de la radiación electromagné-

tica que viene del Sol, han nacido de hecho cerca de un millón de años atrás: es que necesitaban «abrirse paso» a la superficie solar. Los neutrinos, en cambio, nos ofrecen la información sobre el estado del Sol prácticamente en el momento de la observación. Por eso no hay nada de extraño en que los cuadros «electromagnético» y «de neutrino» pueden no concidir... ¿No significaría la falta de los neutrinos solares en los experimentos de Davis que el reactor termonuclear solar precisamente no funciona en nuestra época?

Es evidente una cosa: la solución del problema surgido necesita las observaciones siguientes de neutrino del Sol. Con este propósito actualmente se crean los aparatos de registro necesarios.

Por otro lado, no se excluye la posibilidad de que el resultado negativo de las observaciones de Davis se explica por las propiedades del propio neutrino. Volveremos a tratar este problema en el capítulo siguiente.

CAPITULO III

En las profundidades del Universo

El Universo

Una de las principales dificultades que siempre afronta el hombre tratando de aclarar su lugar en el Universo es la posición terrestre del observador. El hombre observaba todos los fenómenos cósmicos tal como son vistos desde la Tierra, o como dirían los físicos, en el sistema de referencia terrestre. Este hecho no podía no complicar la aclaración de su carácter verdadero.

Por eso no hay nada de extraño en que los hombres necesitaron largos siglos para, por ejemplo, aclarar la forma esferiodal de la Tierra...

Muchos problemas de la estructura del Universo podrían resolverse con relativa facilidad simplemente cambiando la posición del observador. Así, por ejemplo, basta con fotografiar simultáneamente la Tierra desde a bordo de varios aparatos cósmicos desde diferentes puntos del cosmos y comparar las fotos obtenidas para convencerse del carácter esferoidal de nuestro planeta.

En lo que se refiere al sistema solar, hasta ahora no podemos, lastimadamente, volar más allá de sus límites y observarlo desde afuera. Tales vuelos son tareas del futuro.

Aquí acude en nuestra ayuda la teoría. Generalizando los resultados de las observaciones astronómicas, permite reconstruir el cuadro ver-

dadero del mundo que nos rodea. Incluso también la estructura del sistema solar.

Históricamente, la resolución de este problema fue muy complicada por el hecho de que los movimientos visibles de los astros no coinciden con los reales. Nos parece, gracias a la rotación diaria de la Tierra, que el Sol de día, la Luna, los planetas y los astros de noche giran alrededor de nuestro propio planeta. Este hecho generó en su tiempo la noción errónea de la posición central de la Tierra en el Universo.

En lo que se trata de los movimientos orbitales de los planetas alrededor del Sol, éstos, gracias al hecho de que los observamos desde la Tierra que ella misma gira alrededor del astro central, parecen muy alterados. Al trasladarse con el tiempo de una constelación a otra, los planetas se mueven ora de oeste a este, ora se paran, ora comienzan a correr en dirección contraria, describiendo lazos caprichosos entre las estrellas.

Era necesario el genio de Nicolás Copérnico para comprender la causa del comportamiento tan extraño de los planetas y separar lo «visible» de lo «real».

Con su doctrina Copénrico introdujo en las ciencias naturales el principio metodológico más importante: «lo visible no siempre es lo real». Y la tarea de la ciencia consiste en conocer la verdadera esencia de los fenómenos encubierta por su apariencia exterior.

El desarrollo siguiente de la astronomía, sobre todo en la segunda mitad del siglo XX, la perfección de los métodos de estudio de los fenómenos cósmicos contribuyó a la ampliación y profundización considerables de las nociones científicas de nuestra posición en el Universo ...

En las noches sin luna, en el firmamento se ve bien una franja nebulosa de la Vía Láctea. Pero

no es una acumulación de masas nebulosas, sino una multitud de estrellas: nuestro sistema solar, la Galaxia. En la Galaxia, según las apreciaciones modernas, hay alrededor de 200 mil millones de estrellas. Para atravesarla de un extremo a otro, un rayo solar debe gastar, siendo su velocidad de 300 mil kilómetros por segundo, cerca de 100 mil años.

No obstante, a pesar de unas dimensiones tan grandiosas, nuestra Galaxia es sólo una de la multitud de semejantes islas estelares en el Universo. Además, tiene satélites. Los más grandes de ellos son las Nubes de Magallanes grande y pequeña. Junto con nuestra Galaxia giran alrededor del centro de masas común. Nuestra Galaxia, las Nubes de Magallanes y unos cuantos sistemas estelares más, incluso la célebre nebulosa de Andrómeda, constituyen el llamado Grupo Local de galaxias.

Para los telescopios y radiotelescopios modernos, así como para otros medios de investigaciones astronómicas, es accesible una zona colosal del espacio. Su radio es de 10 ... 12 mil millones de años de luz. En esa zona se hallan miles de millones de galaxias. Su conjunto se llama Metagalaxia.

En el proceso de la actividad cognoscitiva, el hombre separa, distingue de la variedad infinita del mundo material determinados objetos, fenómenos, enlaces, interacciones. Por eso es racional distinguir las nociones del Universo astronómico y de todo el mundo material.

«Entre tanto —escribe el académico P. N. Fedoséev, científico soviético de renombre—, hay todas las razones para considerar, partiendo del principio de la evolución, que el Universo, estudiado por las ciencias naturales modernas, representa una formación que se desarrolla con el tiempo, la cual ha surgido de ciertos estados y

formas de la materia precedentes a ésta, y se sustituirá por sus estados y formas nuevos.

Para la filosofía materialista son ajenas las nociones del engendro del mundo físico por la conciencia como del acto de creación del Universo por cierto ser superior. Si el Universo, estudiado por nosotros hoy día, surgió 20 mil millones de años atrás, desde el punto de vista filosófico es importante la admisión del carácter objetivo de ese proceso como una etapa cósmica del autodesarrollo de la materia. La tarea de una ciencia concreta consiste en comprender físicamente y describir dicho proceso. Es posible idear también la existencia de muchos Universos con una topología complicada. Por eso es racional distinguir el término Universo del naturalista, con el cual se designan nuestros datos sobre el Universo acumulados hasta el momento de tiempo dado, de la noción filosófica de mundo material. Dicha noción encierra en forma oculta todos los logros futuros en la doctrina sobre el Universo del naturalista».

En la metagalaxia expansiva

Una de las teorías astronómicas más aturdidoras, que aparecieron en el siglo en curso, puede considerarse, sin duda, la teoría del «Universo expansivo» o, hablando más exactamente, de la Metagalaxia expansiva.

La idea principal de esta teoría consiste en el hecho de que la Metagalaxia surgió 15 ... 20 mil millones de años atrás debido a la explosión cósmica grandiosa de un enjambre compacto de materia superdensa.

Unas palabras sobre cómo nació esta teoría.

Uno de los métodos más eficientes del estudio del Universo es la construcción de diferentes modelos teóricos, es decir, esquemas teóricos simpli-

ficados del mundo. Durante largo tiempo en la cosmología se estudiaban los llamados modelos isótropos homogéneos. ¿Qué significa esto?

Imaginémonos que hemos dividido el Universo en numerosas zonas «elementales», y que cada una de ellas contiene un gran número de galaxias. Entonces la homogeneidad y la isotropia significan que las propiedades y el comportamiento del Universo en cada época son iguales en todas las zonas lo suficientemente grandes y por todas las direcciones.

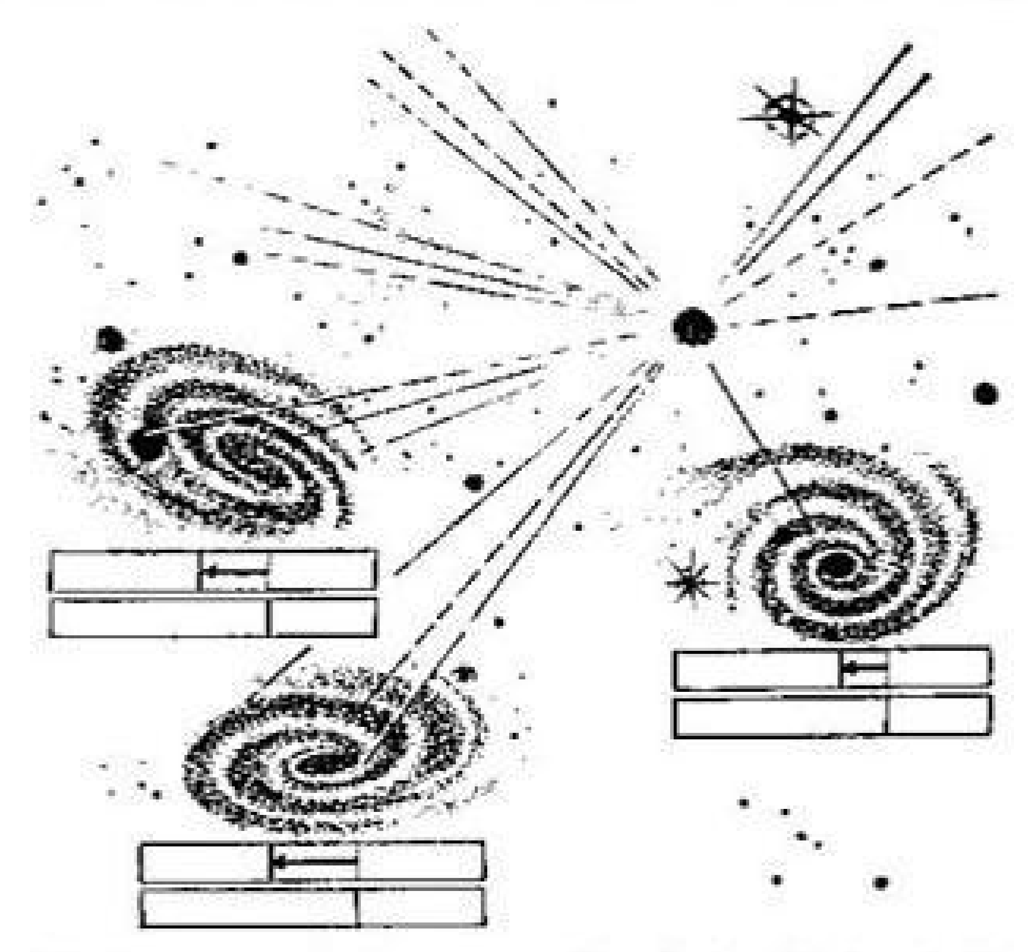


Fig. 14. Esquema de la expansión de la Metagalaxia. El desplazamiento hacia el rojo de las lineas espectrales aumenta con la distancia

El primer modelo del Universo isótropo homogéneo fue propuesto por A. Einstein. Describía el llamado Universo estacionario, es decir, tal

Universo que con el tiempo no sólo no varía sus rasgos generales, sino en el cual no existen en general movimientos algunos de escala demasiado grande.

Sin embargo, en 1922, el científico leningradense talentoso A. A. Fridman mostró que las ecuaciones de Einstein admiten también una multitud de modelos isótropos homogéneos no estacionarios que precisamente se ensanchan y se comprimen. Más tarde se aclaró que también el modelo estático de Einstein se convierte inevitablemente en el no estacionario. Esto quería decir que un Universo isótropo homogéneo debe obligatoriamente bien ensancharse, bien comprimirse.

Ya anteriormente el astrónomo norteamericano Slipher descubrió el desplazamiento hacia el rojo de las líneas espectrales en los espectros de las galaxias. Un fenómeno semejante, conocido en la física bajo el nombre de efecto Doppler, se observa en los casos cuando aumenta la distancia entre una fuente de luz y el receptor.

Ya después de los trabajos de Fridman, el astrónomo norteamericano Habbl demostró definitivamente que cuanto más lejos de nosotros se halla la galaxia, tanto mayor es el desplazamiento de las líneas en su espectro. Es más, se reveló una dependencia directamente proporcional entre las distancias y el valor del desplazamiento rojo. Desde el punto de vista del efecto Doppler esto quiere decir que todas las galaxias se alejan tanto más rápidamente, cuanto mayor es la distancia entre éstas.

Precisamente a base de este cuadro del movimiento de las galaxias, obtenido como resultado de la explicación del desplazamiento hacia el rojo con ayuda del efecto Dopler, fue elaborada la teoría de la Metagalaxia expansiva.

No obstante, la aceptación de esta teoría no

fue unívoca ni mucho menos. En diferente tiempo se hicieron varias pruebas de explicar el fenómeno del desplazamiento hacia el rojo no por el alejamiento mutuo de las galaxias, sino por algunas otras causas. Ninguna de las hipótesis propuestas tuvo éxito.

Sin embargo, hasta el día de hoy se sigue haciendo tentativas de desmentir el carácter doppleriano del desplazamiento rojo en el espectro de las galaxias.

Tratemos de llegar a comprender si se puede explicar el desplazamiento hacia el rojo en los espectros de las galaxias no por el efecto Doppler, sino por alguna otra causa, y si existen algunas razones serias para poner en duda la expansión de la Metagalaxia.

En calidad de objeción más difundida contra la interpretación cosmológica del desplazamiento hacia el rojo se exponía la suposición sobre el «envejecimiento» de los fotones, su «degradación» paulatina y la disminución de su energía (es decir, el aumento de la longitud de onda) en el camino largo a través del espacio cósmico.

Sin embargo, la «disputa» entre el efecto Doppler y el efecto de degradación puede resolverse bien unívocamente con ayuda de las observaciones astronómicas. Es que estos efectos no son iguales del todo.

Como muestran los cálculos, *durante el envejecimiento de los fotones* la variación $\Delta\nu$ de la frecuencia ν (es decir, el desplazamiento de las líneas espectrales) debe ser igual por todo el espectro. Con otras palabras, *el valor del desplazamiento no depende de la frecuencia.*

En el caso del efecto Doppler, la variación de la frecuencia es proporcional a la frecuencia. Aquí es constante no el propio valor del desplazamiento $\Delta\nu$, sino su relación a la frecuencia correspondiente $\Delta\nu/\nu$. Con otras palabras, el valor del des-

plazamiento en este caso es desigual para diferentes líneas del espectro.

¿Qué dicen las observaciones? Testimonian que precisamente el desplazamiento rojo, observado en los espectros de las galaxias, es tal que para diferentes líneas de un mismo espectro es igual no la variación de la frecuencia, sino la relación de esta variación a la propia frecuencia. Esto evidencia de un modo inequívoco a favor de la explicación «dopleriana» del desplazamiento hacia el rojo en los espectros de las galaxias.

Otra cuestión si sucede en general la «degradación» de los fotones cósmicos. Si el desplazamiento de las líneas espectrales no depende de la frecuencia, entonces, evidentemente, éste debe ser más ostensible en la zona de frecuencias relativamente bajas, es decir, en el radiodiapasón. Aquí como en la escala «alargada» de una radio, hasta una leve variación de la frecuencia debe «saltar a la vista». No obstante, las observaciones astrofísicas no descubrieron indicios algunos del fenómeno semejante.

La verdad es que la justeza nos obliga a señalar que en principio existe un fenómeno físico más que tiene iguales particularidades que el efecto Doppler. Cuando una radiación se propaga en el campo gravitatorio, su frecuencia varía igual que durante el alejamiento mutuo de la fuente y el receptor.

Pero los cálculos muestran que en el caso del desplazamiento metagaláctico hacia el rojo, ese efecto, conocido bajo el nombre de «desplazamiento gravitatorio» o «efecto Einstein», puede representar con su valor sólo un suplemento bastante pequeño al efecto Doppler.

De esta manera, la física moderna no conoce otros fenómenos aparte del efecto Doppler, con ayuda de los cuales se podría explicar el despla-

zamiento hacia el rojo observado en los espectros de las galaxias.

Pero en general, ¿existen razones para buscar algunas otras explicaciones no vinculadas con el efecto Doppler? Sería, evidentemente, justificado en el caso de conducir el cuadro «doppleriano» a algunas serias contradicciones. ¿Existen tales contradicciones en realidad?

En su tiempo se exponían objeciones relacionadas con la edad de los objetos cósmicos. Es que, según la teoría de la Metagalaxia expansiva, la duración de la época de expansión cuenta 10 ... 20 mil millones de años. ¿No conduciría esto a una contradicción con las apreciaciones existentes de la edad de las estrellas, las acumulaciones estelares y las galaxias?

Un tiempo parecía de verdad que la duración de la época de expansión y la edad de los objetos cósmicos no son compatibles. Pero ahora puede considerarse universalmente adoptado que la duración de la existencia de todas las formaciones cósmicas conocidas por nosotros tiene el orden de 10 mil millones de años.

No obstante, las apreciaciones de la edad de ciertos objetos cósmicos de 20 mil millones de años y más se encuentran hasta el día de hoy. Surge una pregunta: si esas apreciaciones se confirman de verdad, ¿será esto catastrófico para la teoría de la expansión?

Como subraya A. L. Zelmánov, la conclusión sobre la duración de la época de expansión de la Metagalaxia, igual a 10 ... 20 mil millones de años, está hecha dentro de los límites de la teoría sobre el Universo isótropo homogéneo. En una teoría más general, este plazo puede ser un poco aumentado.

Sin embargo, también dentro de la teoría sobre el Universo isótropo homogéneo son posibles ciertas variantes, cuando la época de expansión de la

Metagalaxia podría ser más larga. En la mayoría de las variantes de la teoría, a principio de la expansión predomina la atracción mutua gravitatoria de las masas, la cual frena, retarda la expansión. Pero a medida de la expansión, la atracción gravitatoria se hace más débil, mientras que la repulsión cósmica, cuya existencia es admitida, en determinadas condiciones, por las ecuaciones de la teoría general de la relatividad, aumenta. Es posible el caso cuando la atracción, al fin y al cabo, se equilibra por la repulsión, cediendo luego a ésta; entonces la expansión retardada debe reemplazarse por la acelerada.

Supongamos que la Metagalaxia se portó precisamente así, y vivimos en la época del ensanchamiento acelerado. Pero esto quiere decir que en un pasado próximo éste transcurría más lentamente y, por lo tanto, duró más que durante el frenado continuo.

Por otro lado, la apreciación de la edad puede estar también completamente reducida.

Según la teoría del Universo expansivo caliente, dentro de algún tiempo después del comienzo del ensanchamiento debería llegar tal fase, cuando toda la materia representaba el plasma constituido por electrones, protones y núcleos de elementos ligeros. Además de la materia, existía también la radiación electromagnética: ondas de radio, rayos X y luminosos. En aquel período tanto la materia como la radiación se hallaban en equilibrio. Las partículas (principalmente los electrones) emitían aproximadamente tantos fotones como absorbían.

Pero posteriormente la temperatura bajó tanto, que los electrones empezaron a combinarse con los iones formando átomos de hidrógeno, helio y demás elementos químicos. A consecuencia de esto el medio se hizo transparente para la ra-

diación. Con otras palabras los fotones prácticamente dejaron de emitirse y absorberse.

En adelante, la temperatura de esta radiación iba bajando poco a poco y, según los cálculos que se desprenden del modelo del Universo expansivo caliente, el universo debe estar lleno actualmente de radiación con una temperatura de alrededor de 3 ... 4 Kelvin.

Esta radiación hipotética fue registrada en el año 1965 y obtuvo el nombre de radiación relicta. El descubrimiento de la radiación relicta testimonia directamente de que la expansión del Universo dura ya varios miles de millones de años a partir de un estado incomparablemente más denso que el contemporáneo.

Sin embargo, últimamente han aparecido ciertos motivos para las dudas. Algunos investigadores consideraban que de hecho se registró sólo cierto fondo térmico general de la Metagalaxia que tiene una naturaleza física completamente diferente.

Se expuso también la hipótesis, según la cual la radiación, tomada por la relicta, de hecho perteneció en un pasado remoto a ciertos objetos cósmicos aislados, y luego se disipó paulatinamente en el espacio.

No obstante, en el congreso ordinario de la Unión Astronómica Internacional celebrado en Inglaterra en el verano de 1970, los científicos llegaron a la conclusión unánime de que actualmente no existen motivos serios para poner en duda el carácter relicto de la radioemisión cósmica registrada.

En lo que se trata de la hipótesis de las fuentes aisladas de la radiación relicta, en los lugares donde en algún tiempo se hallaban, tendrían que observarse pequeñas fluctuaciones de la radioemisión.

Sin embargo, como mostraron las investigaciones realizadas por el radioastrónomo soviético Yu. N. Paríyski, puede afirmarse con gran precisión que semejantes fluctuaciones no existen en ninguna parte.

Pero si hasta resultase que la radiación relicta no existe en general, esto no significaría ni mucho menos que se debe rechazar la teoría de la expansión. Dentro de los límites de esta teoría es posible también tal variante, para la cual la radiación relicta no surge.

Un argumento muy importante a favor de la teoría de la expansión del Universo da el estudio de los quasaros. En las zonas del Universo relativamente próximas a nosotros, la densidad espacial de esos objetos es bastante pequeña. Pero a unas distancias de 7 ... 9 mil millones de años de luz ésta aumenta considerablemente para luego bajar hasta cero. Esto quiere decir que en un pasado remoto la densidad de los quasares era mayor, mientras que todavía no surgían en una época más joven.

De tal modo, los quasares nos ofrecen una confirmación independiente de que el Universo no es estacionario ni mucho menos. No obstante, se expresan dudas si en general existen a nuestro alcance patrones para medir el valor del desplazamiento hacia el rojo. Es que si las longitudes de ondas de la radiación electromagnética aumentan igual que las distancias metagalácticas, y el tamaño de los átomos igual que las longitudes de ondas, entonces realmente no se pode descubrir nada.

Huelga señalar ante todo, que la física moderna parte del hecho de que durante la expansión de la Metagalaxia cambian sólo las escalas cosmológicas. En lo que se refiere a las escalas microscópicas y macroscópicas, éstas se conservan en el proceso de expansión. No es simplemente uno de los

puntos de vista posibles, sino una cuestión enlazada estrechamente con las bases fundamentales de toda la física moderna en general.

¿Estamos en el centro?

Así, vivimos en una Metagalaxia expansiva y vimos como se alejan en todas las direcciones las galaxias que nos rodean. En relación con esto puede formarse involuntariamente la impresión de que precisamente nosotros estamos en el centro de expansión, un punto fijo, a partir del cual se desbandan las demás islas estelares. Pero

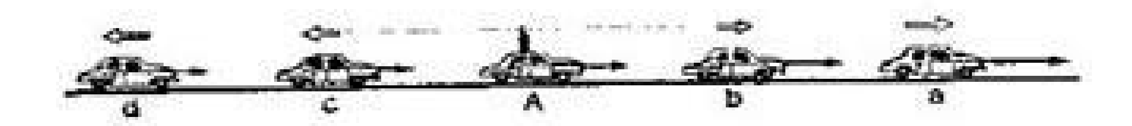


Fig. 15. Analogía que explica la falta del centro de expansión en la Metagalaxia

tal caso concuerda mal con la teoría de las probabilidades provocando una perplejidad legítima: ¿por qué precisamente nosotros?

Efectivamente, la impresión sobre nuestra posición central en la Metagalaxia es errónea. Citemos un ejemplo explicatorio propuesto por A. L. Zelmánov. Imaginémonos, por ejemplo, que de un mismo lugar sale simultáneamente a una carretera absolutamente recta una multitud de automóviles y empieza el movimiento hacia un mismo lado con diferentes velocidades. Dentro de cierto tiempo éstos se ubicarán unos respecto a otros, evidentemente, de acuerdo a sus velocidades: los que corren más rápidamente se adelantarán, los más lentos quaderán atrás.

Ahora, cada vehículo que va delante se moverá, evidentemente, con mayor velocidad que el que lo sigue. Imaginémonos un observador que se en-

cuentra en uno de los vehículos que van en el centro y ve sólo los demás automóviles delante y atrás. Entonces, independientemente del vehículo en que vaya, le ha de parecer que precisamente él se halla en el centro de la expansión (alargamiento) de la hilera de automóviles, dado que los demás, tanto delanteros como traseros, se irán alejando de él: los primeros se irán cada vez más adelante, los segundos se quedarán cada vez más atrás.

Idénticamente el desplazamiento metagaláctico hacia el rojo testimonia solamente sobre el aumento de las distancias que separan de nosotros y una de otra las demás galaxias, pero nada de que precisamente nosotros estamos en el centro. Si nos trasladáramos a alguna otra galaxia, nos parecería que precisamente ésta es la central.

En relación con la expansión de la Metagalaxia surge una pregunta más. Como se sabe, determinamos la distancia de una u otra galaxia por el desplazamiento hacia el rojo con ayuda de la ley de Habbl: cuanto mayor es el desplazamiento hacia el rojo, tanto más lejos de nosotros está la galaxia. Pero mientras el rayo luminoso emitido por la galaxia alcance la Tierra, dicha galaxia tendría que alejarse a una distancia aún mayor. Más todavía: en un mismo momento recibimos los rayos luminosos de diferentes galaxias emtidos en distintas épocas. ¿No embrolla esto definitivamente todo el cuadro de la estructura de la Metagalaxia?

Semejantes recelos son completamente infundados por la razón simple de que la teoría toma en consideración estas circunstancias. Está construida de tal manera que todas las distancias se recalculan automáticamente y se reducen a una misma época, la de observación.

Una pregunta más: ¿por qué el desplazamiento hacia el rojo aumenta con la distancia, con otras

palabras, por qué las galaxias más lejanas se alejan con mayores velocidades? La dependencia del desplazamiento hacia el rojo de la distancia no es una consecuencia ni mucho menos de un lanzamiento de las galaxias de cierto punto inicial con diferentes velocidades. La expansión de la Metagalaxia sucede de tal manera que la velocidad de aumento de la distancia entre dos puntos cualesquiera es proporcional al valor de esa distancia. Esto fue establecido definitivamente por las observaciones ya en el año 1929.

La nebulosa Cangrejo

Si el ojo humano fuera sensible a las ondas de radio métricas y centimétricas, veríamos un cuadro del cielo muy diferente del corriente. Junto con el Sol, que es un objeto de radio brillante, estallarían también las «manchas de radio» no menos brillantes en las constelaciones del Sagitario, de Casiopea, del Cisne y del Tauro. Las veríamos allí donde las observaciones ópticas no revelan objetos con brillo notable. Todas estas radiofuentes tienen forma irregular, la distribución de la radioemisión tiene un carácter «mechoso». Igual forma «erizada» tiene el radiosol. Nos sorprendería también que en los haces de radio el cielo no estaría obscuro, sino iluminado enteramente por una «luz de radio», siendo ésta diferente para diferentes longitudes de ondas. En los diapasones centimétrico y decimétrico la iluminación no sería muy fuerte. En el métrico, la radioluminiscencia aumentaría bruscamente, pero lucirían con más brillo tanto el Sol, como las fuentes en Casiopea y Cisne. No obstante, el cielo se haría tan deslumbrante que el Sol parecería un círculo negro en su fondo brillante ...

Entre las numerosas estaciones de radio cósmicas hay una especialmente interesante. En el he-

misferio boreal de la bóveda celeste, en la constelación del Tauro, se halla una pequeña nebulosa gaseosa. Por su configuración caprichosa, que en algo recuerda un cangrejo gigantesco, se le atribuyó el nombre de Cangrejo.

La nebulosa Cangrejo fue descubierta por primera vez por D. Bewyss, físico y astrónomo aficionado inglés, pero su descubrimiento no atrajo en aquel entonces atención especial. La nebulosa Cangrejo fue descubierta por segunda vez en 1756 por el astrónomo francés Charles Messier, quien al principio la tomó erróneamente por el cometa de Halley.

No obstante, ese pedazo de gas cósmico atrajo la atención verdadera de los astrónomos mucho más tarde, cuando fue descubierta una serie de fenómenos insólitos vinculados con la nebulosa Cangrejo.

Actualmente «El Cangrejo», como lo llaman abreviadamente los astrónomos, es el objeto más importante de las investigaciones astrofísicas. Su estudio está estrechamente ligado con los problemas más actuales de la ciencia sobre el Universo.

Una de las propiedades más interesantes de la nebulosa Cangrejo es su rápida expansión. La comparación de las fotos hechas en diferentes años ha mostrado que los gases, que integran la nebulosa, se dispersan con una velocidad colosal de hasta 150 km/s. Por lo visto, una velocidad de alejamiento tan alta es la consecuencia de una explosión de gigantesca fuerza que sucedió en esa zona del espacio unos 900 años atrás, cuando toda la materia de la nebulosa Cangrejo fue concentrada en un lugar. Si el movimiento de las masas gaseosas que constituyen la nebulosa Cangrejo se vuelve mentalmente hacia atrás, resultará que debía tener las dimensiones puntuales aproximadamente en el año 1050. ¿Qué sucedió en esa

región del cielo a principios del segundo milenio de nuestra era?

... En la mitad del período de 10 días de la cuarta Luna del segundo año de la época Ten, así como durante los días siguientes —se cuenta, por ejemplo, en las crónicas japonesas May-Gatsuki—, se observaba una estrella huésped en la órbita de Orión. Se podía verla en el horizonte occidental. Brillaba como una cometa de rayos cortos ... y era del tamaño de Júpiter.

Una información análoga contienen algunas otras crónicas de aquellos tiempos. Si su contenido se traduce a la lengua astronómica moderna, llegaremos a la conclusión de que en primavera de 1054 en la constelación del Tauro estalló una estrella supernova. Durante 23 días relucía tan fuertemente que era bien vista en el cielo diurno a la luz del Sol. Posteriormente se podía observarla a lo largo de más de un año.

La comparación de esos hechos condujo a los científicos a la conclusión de que la nebulosa Cangrejo representa el resto de la explosión de una supernova.

Como muestran los cálculos basados en los datos de las observaciones astronómicas, la masa de la nebulosa Cangrejo alcanza, por lo visto, una décima parte de la masa del Sol. Una masa tan grande es testimonio de la escala grandiosa de la explosión de la supernova, durante la cual fue arrojada al espacio circundante una cantidad tan considerable de materia.

Una de las particularidades seductoras de las investigaciones realizadas en el laboratorio del Universo es la posibilidad de encontrar un gran número de efectos impredicables, es decir, tales fenómenos, cuya existencia era imposible de prever con ayuda de conclusiones puramente lógicas a base del conocimiento existente. En este sentido la astronomía moderna adelanta mucho

otras ciencias naturales. Precisamente tal «sorpresa» sucedió durante el estudio de la nebulosa Cangrejo. En el año 1949 los radioastrónomos descubrieron que la formación gaseosa en la constelación del Tauro es una fuente de radioemisión extraordinariamente fuerte.

Hablando en términos generales, cualquier objeto cósmico, sea una galaxia, una estrella, un planeta o una nebulosa, debe emitir ondas electromagnéticas, a condición de que su temperatura sea mayor que el cero absoluto, la llamada radiación térmica. Esa radiación es generada por el movimiento térmico de las partículas del cuerpo emisor.

El estudio de la nebulosa Cangrejo ha mostrado que su radioemisión es varias veces más potente que la radioemisión térmica que debería poseer de acuerdo con su temperatura.

Precisamente en aquel entonces fue hecho uno de los descubrimientos más notables en la astronomía moderna, que no sólo explicó las particularidades misteriosas del Cangrejo, sino que proporcionó la clave para la comprensión de la naturaleza física de numerosos fenómenos que suceden en el Universo. Aquí no hay nada de extraño, dado que en cada objeto cósmico aislado se reflejan las leyes más generales de los fenómenos naturales.

El descubrimiento, de que se trata, fue realizado primeramente al nivel teórico, principalmente gracias a los esfuerzos de los científicos soviéticos. Fue desarrollada la teoría de la radiación electromagnética atérmica de los objetos cósmicos generada por el movimiento de los electrones muy rápidos, llamados relativistas, en los campos magnéticos. Por analogía con ciertos procesos que suceden en los aceleradores de partículas cargadas, tal radiación obtuvo el nombre de sincrotrónica.

La naturaleza de la radiación sincrotrónica consiste en que las partículas cargadas (electrones) se mueven en el campo magnético por trayectorias helicoidales «enroscándose» en las líneas de fuerza magnética. Al seguir una trayectoria curvilínea, la partícula cargada experimenta aceleración, emitiendo a consecuencia de esto ondas electromagnéticas.

Dicha idea obtuvo pronto una confirmación convincente: las observaciones de la nebulosa Cangrejo revelaron unos efectos específicos predichos por la teoría. Hoy en día, la naturaleza sincrotrónica de la radioemisión de la nebulosa Cangrejo en la gama métrica no se pone en duda por nadie.

Por lo demás, como muchas veces acontece en la ciencia, la solución de un problema dió la vida a otro, no menos intrigante. Para que el mecanismo sincrotrónico genere la fluorescencia en la gama óptica, los electrones deben poseer una energía enorme. ¿Qué representa la fuente de esa energía en la nebulosa Cangrejo? Por lo visto, tal fuente fue la explosión de una supernova. Aquí entramos en la esfera relativamente poco investigada de la astrofísica donde rigen no tanto las leyes establecidas con seguridad, como toda clase de suposiciones e hipótesis.

Las explosiones de las supernovas son uno de los fenómenos más grandiosos en el mundo de las estrellas. Por lo demás, el nombre «supernova», así como algunos otros términos astronómicos, no refleja muy exactamente la esencia de la cuestión: en realidad explota no una nueva estrella, sino la existente. Empieza a «hincharse» inesperadamente, arroja sus capas exteriores y durante varios días o semanas radía una cantidad enorme de energía.

Como muestran las observaciones, tales objetos poseen, en el apogeo de su brillo, una lumi-

nosidad colosal, que aproximadamente supera 10 mil millones de veces la del Sol. Durante todo el tiempo de la explosión las supernovas desprenden tanta energía, cuanta el Sol radía durante mil millones de años.

Las supernovas explotan no sólo en nuestra Galaxia, sino también en otros sistemas estelares. Así, por ejemplo, en 1885 fue registrada la explosión potente de una supernova en la galaxia de Andrómeda, la célebre «nebulosa» de Andrómeda que se halla alejada de nosotros a la distancia de uno a dos millones de años-luz. La estrella naciente brillaba con tal fuerza, que su luminosidad visible alcanzó casi la misma magnitud que la luminosidad de toda la «nebulosa» que la rodea, formando cientos de miles de millones de estrellas.

Como han mostrado las observaciones de varios años, las supernovas explotan en las galaxias gigantescas del tipo de Andrómeda aproximadamente una vez en 30 años. En particular, durante los últimos 85 años en la galaxia de Andrómeda fueron registradas dos explosiones de supernovas, mientras que en pequeñas islas estelares no se pudo descubrir, a pesar de unas observaciones minuciosas, ni una sola explosión. En lo que se trata de nuestra propia Galaxia, en semejantes sistemas estelares, como muestra la estadística, las explosiones de las supernovas suceden aproximadamente una vez cada 50 ... ... 100 años.

Por lo demás, la situación con las supernovas en nuestra Galaxia es un poco extraña. Es que hasta nosotros llegó la información sobre las explosiones de supernovas en 1054, 1572 y 1604. Dichas explosiones eran lo suficientemente próximas para que se pudiera observarlas a simple vista.

Sin embargo, desde aquel entonces en nuestra

Galaxia no se ha observado ni una sola explosión de supernova. Por otro lado, las radioobservaciones tampoco descubren las nebulosas gaseosas radioemisoras que se forman generalmente debido a las explosiones, y que estuvieran enlazadas con las supernovas que habían precidido a la explosión de 1054 a lo largo de 10 mil años aproximadamente.

Por supuesto, no todas las explosiones ni mucho menos pueden ser vistas, sobre todo si éstas suceden en regiones alejadas de nuestra Galaxia: pueden estar tapadas por las nubes de gas y polvo que absorben la luz de las estrellas. Pero las «radioconsecuencias» de las explosiones tendrían que revelarse. La falta de explosiones de supernovas en nuestra Galaxia durante unos lapsos de tiempo bastante largos es uno de los enigmas más interesantes de la ciencia sobre el Universo.

Actualmente en los observatorios astronómicos de diferentes países se realiza un «patrullaje» regular de otras galaxias a fin de registrar las explosiones de supernovas que se producen en esos sistemas estelares. Si tal explosión se descubre, inmediatamente se manda un cablo a Moscú, al Buró de comunicaciones astronómicas del Instituto astronómico estatal Sternberg. Los astrónomos extranjeros mandan noticias análogas al Buró Internacional. Esto es imprescindible para organizar lo más rápidamente posible las observaciones amplias de la estrella que centelleó en diferentes observatorios del mundo. Sólo de esta manera es posible garantizar el estudio más o menos ininterrumpido de este fenómeno raro a diferentes horas del día y asegurarse de los caprichos del tiempo.

La acumulación de los datos sobre las explosiones de las supernovas en el Universo no sólo permitirá precisar la frecuencia de éstas para

diferentes tipos de sistemas estelares, sino también descubrir ciertas leyes generalizadas de este fenómeno asombroso.

El enigma de Casiopea

Hoy día, junto con la nebulosa Cangrejo, son conocidas también unas cuantas nebulosas cósmicas, las cuales también representan, por lo visto, los restos de supernovas.

Muchos conocen, posiblemente, la constelación de la Casiopea que hace recordar la letra latina W. Puede encontrarse fácilmente en el cielo si se traza una recta a partir de dos estrellas extremas del «cucharón» de la Osa Mayor hacia la estrella Polar prolongándola más allá.

En el año 1948 en esta constelación fue descubierta una fuente muy brillante de radioemisión cósmica que obtuvo el nombre de «Casiopea-A». Aunque desde aquel entonces ya pasaron muchos años y durante ese período fue descubierta toda una serie de «radioemisoras cósmicas», Casiopea-A sigue siendo una de las más potentes conocidas por nosotros. No obstante, no sólo esta circunstancia atrae la atención hacia Casiopea-A.

Es que para cada radioemisora cósmica puede descubrirse, como regla, un objeto cósmico enlazado con ésta, que es la fuente de ondas de radio, sea una galaxia, un quasar, una estrella neutrónica o una nebulosa. Pero cuando fue descubierta Casiopea-A, resultó que en este sentido es una exclusión: por mucho que se esforzaron los astrónomos, no pudieron hallar en ese lugar ningún objeto visible. Se ha formado la impresión de que la radioemisión que llega hasta nosotros de la región de Casiopea surge en un «lugar vacío».

Sólo pasados tres años, los astrónomos lograron de todas maneras descubrir en esa zona del

cielo una nebulosa mechosa y fibrosa muy pequeña de brillo débil. Pero aquí no terminaron ni mucho menos los enigmas relacionados con Casiopea-A. Pronto se aclaró que la nebulosa que se halla en el lugar de donde viene la radioemisión se ensancha muy rápidamente. Sus fibras estiradas se esparcen en el espacio con unas velocidades enormes de 7 a 10 mil km/s (que es 10 veces mayor que la expansión de la nebulosa Cangrejo). Sólo esto nos permite juzgar sobre la energía colosal del proceso que generó la nebulosa. Valiéndose de la velocidad de ensanchamiento de la nebulosidad en Casiopea se puede calcular aproximadamente el tiempo de su comienzo. Las observaciones y los cálculos correspondientes mostraron que esto sucedió probablemente alrededor del año 1702. Precisamente en aquel tiempo en esa zona del cielo tuvo que estallar una supernova.

Sin embargo, es curioso que sobre este acontecimiento no se conservaron ningunos testigos históricos. Tal fenómeno no pasa, como regla, inadvertido, sino que atrae la atención general, en todo caso, la atención de los astrónomos. No obstante, ningún documento perteneciente a la segunda mitad del siglo XVII, ni los recuerdos de los contemporáneos mencionan algo sobre la estrella que centelleó.

¿Por qué la supernova de Casiopea «se escapó» de los observadores? Es que en aquel tiempo en Europa ya existía una serie de observatorios que realizaban las observaciones sistemáticas de los cuerpos celestes. Todavía no se ha hallado una respuesta convincente a esta pregunta. Sólo nos resta admitir que precisamente en ese período durante varias semanas seguidas en toda Europa hacía un tiempo nublado ... Pero es que la constelación de Casiopea puede observarse no sólo en Europa.

Más convincente era la suposición de que la luz de la estrella que resplandeció fue absorbida por la materia interestelar que rellena el espacio cósmico. Pero las observaciones mostraron que, aunque la absorción de la luz en dirección de Casiopea-A realmente existe, es aproximadamente dos veces más débil que la absorción capaz de «ocultar» la explosión de una supernova de las miradas humanas.

Es interesante la hipótesis expuesta por I.S. Shklovski, conocido astrofísico soviético, miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de la URSS, quien supuso que era una nube gigantesca de polvo formada en el proceso de la explosión la que impidió ver a la supernova. Tal nube pudo cerrar el paso a los rayos luminosos convirtiéndolos en radiación infrarroja invisible inaccesible para los astrónomos de aquella época. Posteriormente, dicha nube pudo disiparse y, como si fuera un telón subido, descubrir el «lugar de acción», haciendo posible la observación de la nebulosa fibrosa que se había formado durante la explosión.

Por lo demás, no se excluye que la fecha de la explosión supuesta está determinada no exactamente del todo. Es que, como ha mostrado el estudio de otras nebulosas surgidas debido a las explosiones de supernovas, su expansión, gracias a la influencia de los campos magnéticos y rayos cósmicos, sucede con cierta aceleración. Al calcular la edad de Casiopea-A, esta circunstancia no se tomó en consideración. Si la nebulosa en la constelación de Casiopea se ensancha con aceleración, la explosión de la supernova pudo suceder no al principio de la segunda mitad del siglo XVII, sino más tarde o, quizás, mucho más tarde.

En las fotos de la nebulosa misteriosa, obtenidas en los telescopios más grandes utilizando

filtros rojos, se ve claramente que ésta no es continua, sino que se compone de fibras alargadas y una multitud de pequeños enjambres. Las investigaciones han mostrado que la composición química de dichas fibras difiere notablemente de la del medio ambiente: contienen decenas de veces más oxígeno, azufre y argón que el espacio interestelar. Esta circunstancia testimonia una vez más que la nebulosa en Casiopea surgió debido a una erupción de algún objeto cósmico y no está vinculada directamente con el medio interestelar, sino que lo atraviesa con enorme velocidad. En lo que trata de las manchitas obscuras, es, por lo visto, el gas interestelar comprimido propagado por la onda de choque que se extiende en el espacio debido a la explosión. No obstante, la composición química de esas concentraciones tampoco se parece a la del gas interestelar. Este hecho hace suponer que, al parecer, primeramente se ensanchó la capa de la estrella, y sólo después sucedió la explosión, y la onda de choque, al extenderse por esa capa, formó en su camino las acumulaciones peculiares.

En el año 1966 fue descubierto que Casiopea-A es no sólo una radiofuente, sino también una fuente de radiación de rayos X, siendo ésta mucho más dura que la radiación análoga procedente de otros restos de las supernovas. Por lo visto, esto se explica por una temperatura muy alta de la plasma radiante, la cual es consecuencia de una velocidad extremadamente alta de expansión. Esta circunstancia sirve de testimonio complementario en favor de la juventud de la radiofuente Casiopea-A.

Un enigma más consiste en el hecho de que en la radionebulosa Casiopea-A no se pudo descubrir ni un sólo objeto parecido a una estrella. La verdad es que ésta puede ser precisamente aquella exclusión que confirma la regla general. Es

que según la teoría, si la masa de la supernova neutrónica, que se forma debido a una explosión, excede 3 ... 5 masas solares, su compresión gravitacional continúa y conduce a la formación de un hueco negro, es decir, un objeto que no nos proporciona ninguna información. (Se contará con más detalle sobre los huecos negros en una de las partes siguientes.)

¿Tal vez en el centro de Casiopea-A se halle precisamente un hueco negro? Contra tal conjetura habla el hecho de que desde el momento de la explosión supuesta de la supernova en esa región ha transcurrido algo más de 250 años, un plazo muy corto en la escala astronómica.

Es poco probable que durante ese tiempo la estrella neutrónica pudiera convertirse en un hueco negro, tanto más, que, como muestra la teoría, para un observador exterior el proceso de formación del hueco negro debe durar un tiempo infinitamente largo. Por lo demás, es posible observar las etapas cualesquiera próximas al hueco negro, y en esas etapas deben surgir unos efectos físicos específicos, los cuales de principio pueden ser notados.

No se excluye que a medida del desarrollo futuro de la técnica de las investigaciones astronómicas, ciertos efectos enlazados con la explosión de la supernova en la Casiopea-A serán de todas maneras registrados. La nebulosa de Casiopea-A es un objeto cósmico único en su género, y su investigación ulterior representa un interés considerable para la comprensión de los procesos de transformación de la materia en el Universo.

El Universo en los rayos gamma

Como se sabe, durante un tiempo bastante largo la astronomía fue una ciencia puramente «óptica». El hombre estudiaba en el cielo lo que

veía: primeramente a simple vista, luego con ayuda de telescopios. Con el desarrollo de la radiotecnia nació la radioastronomía, que ensanchó considerablemente nuestros conocimientos sobre el Universo. Por fin, últimamente, debido a la aparición de los medios cósmicos de investigación, ha surgido la posibilidad de estudiar también otros mensajeros electromagnéticos del Universo: los rayos infrarrojos, ultravioleta, gamma y X. La astronomía se ha convertido en una ciencia omnionda.

Uno de los métodos nuevos de investigación de los objetos cósmicos es la astronomía de rayos X. A pesar de que este método es relativamente joven, hoy en día es imposible hacerse una idea del Universo sin los datos obtenidos gracias a las observaciones en la gama de los rayos X.

Una fuente quizá más prometedora de información cósmica son los rayos gamma. Es que la energía de los cuantos-gamma puede superar centenares de miles y millones de veces la energía de los fotones de la luz visible. Para tales cuantos-gamma el Universo es realmente transparente. Su propagación es prácticamente rectilínea, llegan hasta nosotros de unos objetos bastante alejados y pueden transmitir datos extremadamente valiosos sobre muchos procesos físicos que transcurren en el cosmos.

Los cuantos-gamma son capaces de traer una información especialmente importante sobre los estados insólitos, extremos de la materia en el Universo, dado que precisamente tales estados interesan primeramnte a los astrofísicos modernos. Así, por ejemplo, los rayos gamma surgen durante la interacción de la materia con la antimateria, así como allí donde sucede el nacimiento de los rayos cósmicos, los flujos de partículas con altas energías.

La principal dificultad de las observaciones

gamma del Universo consiste en el hecho de que, aunque la energía de los cuantos-gamma cósmicos es muy grande, el número de esos cuantos en el espacio circunterrestre es ínfimamente pequeño. Los telescopios de rayos gamma modernos registran aproximadamente un cuanto por unos minutos procedente de las fuentes de rayos gamma más brillantes.

Unas dificultades considerables surgen a causa de que se tiene que estudiar la radiación cósmica primaria en el fondo de numerosas interferencias. Bajo la acción de las partículas cargadas de los rayos cósmicos que llegan a la Tierra, protones y electrones, empiezan a «lucir» brillantemente en el diapasón gamma tanto la atmósfera terrestre como las estructuras de una nave cósmica, en la cual están instalados los aparatos de registro.

¿Cómo luce el Universo en los rayos gamma? Imagínense por un minuto que sus ojos son sensibles no a la luz visible, sino a los cuantos-gamma. ¿Qué cuadro aparecerá ante nosotros? Al mirar la bóveda celeste, no veríamos el Sol ni las constelaciones habituales, y la Vía Láctea luciría como una faja estrecha brillante. A propósito, semejante distribución de la radiación gamma galáctica ha confirmado la suposición expresada en su tiempo por el académico V. L. Guinsburg, conocido físico soviético, de que los rayos cósmicos tienen generalmente origen galáctico y no extragaláctico.

Actualmente, con ayuda de los telescopios de rayos gamma, instalados en los aparatos cósmicos, se hace registradas unas decenas de fuentes de radiación gamma cósmica. Todavía es imposible decir a ciencia cierta qué representan: son estrellas u otros objetos compactos o, quizás, unas formaciones extendidas. Existen razones para suponer que la radiación gamma surge du-

rante los fenómenos no estacionarios, de explosión. A tales fenómenos pertenecen, por ejemplo, las explosiones de las supernovas. Sin embargo, al explorar los 88 restos conocidos de las supernovas se han descubierto sólo dos fuentes de rayos gamma.

Al mismo tiempo se han registrado fuentes extragalácticas de rayos gamma enlazadas con las galaxias activas y los quasares donde suceden procesos de explosión decenas de millones de veces más potentes que las explosiones de las supernovas. No se excluye la posibilidad de que la astronomía moderna está a punto de descubrir una clase de objetos cósmicos nueva de principio, cuya naturaleza física todavía ignoramos.

Una fuente bastante interesante de rayos gamma fue descubierta también en la constelación de Ofiuco. En este lugar se halla una nube compacta de gas y polvo, dentro de la cual está ubicado un grupo de estrellas jóvenes calientes centelleates. Se han registrado rayos gamma procedentes de otra nebulosa, la de Orión, en la cual hay estrellas jóvenes y donde, según ciertos datos, se observa la expansión de los sistemas de tales estrellas, las asociaciones estelares.

Según las nociones modernas, las explosiones de las supernovas es una de las etapas finales en la vida de las estrellas. Pero los fenómenos de explosión son, por lo visto, característicos para las etapas tempranas de desarrollo de esos cuerpos celestes. Se forma la impresión de que los rayos gamma y el proceso que los engendra están enlazados no con la muerte de la estrellas, sino más bien con su nacimiento.

De principio, el registro de los rayos gamma cósmicos de alta energía permite descubrir los objetos que son generadores de rayos cósmicos, es decir, resolver el problema que hace mucho que es uno de los primordiales en la astrofísica. Es

que durante la interacción de los núcleos enérgicos, que integran los rayos cósmicos, con el medio interestelar que rodea su fuente, las partículas de gas y polvo, deben nacer unas partículas elementales especiales, los llamados mesones pi cero. Estas partículas son de breve vida y se desintegran en cuantosgamma, que pueden registrarse con ayuda de los telescopios de rayos gamma. En este caso la luminosidad por rayos gamma es tanto más brillante, cuanto mayor es la densidad de la radiación cósmica. De esta manera, las observaciones en el diapasón de rayos gamma permite no sólo determinar el lugar de ubicación del objeto que engendra los rayos cósmicos, sino también evaluar su intensidad.

Las estrellas neutrónicas llamadas pulsares son también fuentes de cuantos-gamma. En particular, la «estrella» más brillante en el intervalo de rayos gamma es un pulsar ubicado en la constelación de Vela, invisible para los telescopios ópticos. Otra «estrella gamma» está identificada con el célebre pulsar en la nebulosa Cangrejo. Pero todavía no hay pruebas directas de que en los pulsares nacen núcleos enérgicos, y de esta manera precisamente los pulsares son fuentes de rayos cósmicos. Lo más probable es que la luminosidad por rayos gamma de los pulsares se provoca por electrones rápidos.

Unos años atrás, con ayuda de los aparatos instalados en los satélites artificiales de la Tierra y los aerostatos de gran altura, fueron descubiertas unas fuertes explosiones de rayos gamma cósmicos. Sorprendía su enorme potencia. La energía liberada durante las explosiones por sus fuentes enigmáticas excedía aproximadamente un millón de veces la energía de la radiación luminosa del Sol.

Aunque la naturaleza física de esos fenómenos queda todavía sin aclarar, hay ciertas razones

para suponer que pueden estar enlazados con los procesos que suceden en los dobles sistemas integrados por estrellas neutrónicas. No se excluye que los potentes paroxismos de radiaciones gamma se deben a la caída de la materia lanzada por una de las estrellas en el doble sistema sobre la estrella neutrónica.

El estudio ulterior de la radiación gamma cósmica debe resolver muchos problemas que tienen una importancia fundamental para la comprensión de la estructura de los objetos cósmicos y los procesos físicos que suceden en el Universo. En particular, el hecho de que los cuantos-gamma se propagan rectilíneamente, ofrece la posibilidad de no sólo descubrir las fuentes muy lejanas de radiación gamma, sino determinar también sus direcciones.

Y como el mecanismo de surgimiento de la radiación gamma está enlazado con la influencia de las partículas «no térmicas» con una energía suficientemente alta, dicha radiación lleva consigo una información extremadamente valiosa sobre los procesos físicos que suceden en tales regiones del Universo donde existe una alta concentración de partículas no térmicas.

Explosiones cósmicas

Hace cuarenta años los astrónomos consideraban que los objetos cósmicos varían poco con el tiempo. Parecía que tanto las estrellas como las galaxias se desarrollan tan lentamente, que durante los lapsos de tiempo visibles en su estado físico no suceden cambios considerables. La verdad es que se conocían estrellas físicas variables que se distinguen, por ejemplo, por las variaciones frecuentes del brillo; las estrellas que lanzan impetuosamente la materia, así como las explosiones de las novas y supernovas que van acompa-

ñadas de la liberación de cantidades enormes de energía. Estos fenómenos, aunque atraían la atención de los investigadores, parecían episódicos, sin tener una importancia de principio.

Sin embargo, ya en los años 50 se difundió la convicción de que los fenómenos de inestabilidad son etapas normales de la evolución de la materia en el Universo, que desempeñan un papel extremadamente importante en el desarrollo de los objetos cósmicos. Efectivamente, fue descubierta una serie entera de fenómenos en el Universo relacionados con la liberación de cantidades enormes de energía y hasta con los procesos de explosión.

En particular, resultó que ciertas galaxias son fuentes de una radioemisión potente.

Una de tales radio galaxias, la fuente de ondas radioeléctricas Cisne-A, se halla en la zona de la constelación del Cisne. Es una estación de radio cósmica excepcionalmente potente: su radioemisión recibida en la Tierra tiene igual potencia que la radioemisión del Sol tranquilo, aunque el Sol dista sólo 8 minutos de luz, mientras que hasta la galaxia en el Cisne hay alrededor de 700 millones de años de luz.

Como muestran los cálculos, la energía total de los electrones relativistas que engendran la radioemisión de las radiogalaxias puede alcanzar un valor enorme. Así, para la fuente de radioemisión Cisne-A esa energía supera decenas de veces la energía de atracción de todas las estrellas que integran dicha radiogalaxia, y es centenares de veces mayor que la energía de su rotación.

Surgen dos preguntas siguientes: ¿cuál es el mecanismo físico de la radioemisión de las radiogalaxias y de dónde se toma la energía necesaria para mantener ese proceso?

En el hemisferio boreal del firmamento, en la

constelación del Tauro, hay una pequeña nebulosa de gas. Por sus configuraciones caprichosas, que en algo recuerdan una gigantesca centolla con una gran cantidad de palpos, se le atribuyó el nombre de Cangrejo. La comparación de las fotos de esta nebulosa hechas en diferentes años ha mostrado que los gases que la integran, se disipan con una velocidad colosal: alrededor de 1000 km/s. Por lo visto, es consecuencia de una explosión de fuerza enorme que tuvo lugar aproximadamente 900 años atrás, cuando toda la materia de la nebulosa Cangrejo fue concentrada en un lugar. ¿Qué ha pasado en esa región del firmamento a principios del segundo milenio de nuestra era?

Encontramos la respuesta en las crónicas de aquellos tiempos. En ellas se cuenta que en primavera de 1054, en la constelación del Tauro se encendió una estrella. Su brillo era tan grande durante 23 días, que se veía bien en el cielo diurno a la luz del Sol. La comparación de estos hechos hizo llegar a los científicos a la conclusión de que la nebulosa Cangrejo representa el resto de la explosión de una supernova.

Las observaciones han mostrado que la nebulosa Cangrejo es una fuente excepcionalmente fuerte de radioemisión. Cualquier objeto cósmico en general, sea una galaxia, una estrella, un planeta o una nebulosa debe emitir, a condición de que su temperatura sea superior al cero absoluto, ondas electromagnéticas en la gama de radioemisión, la llamada radioemisión térmica. Lo asombroso consistía en que la radioemisión de la nebulosa Cangrejo era varias veces más potente que aquella radioemisión térmica que tendría que poseer de acuerdo con su temperatura. Precisamente entonces se hizo uno de los descubrimientos más grandes en la astrofísica moderna, un descubrimiento que no sólo explicó la naturaleza

de la radioemisión, sino que dio la clave para la comprensión de la naturaleza física de múltiples fenómenos que transcurren en el Universo. Por lo demás, esto no tiene nada de extraño: es que en cada objeto cósmico aislado se reflejan las leyes más generales de los procesos naturales.

Fue elaborada, principalmente con el esfuerzo de los científicos soviéticos, la teoría de la radia-

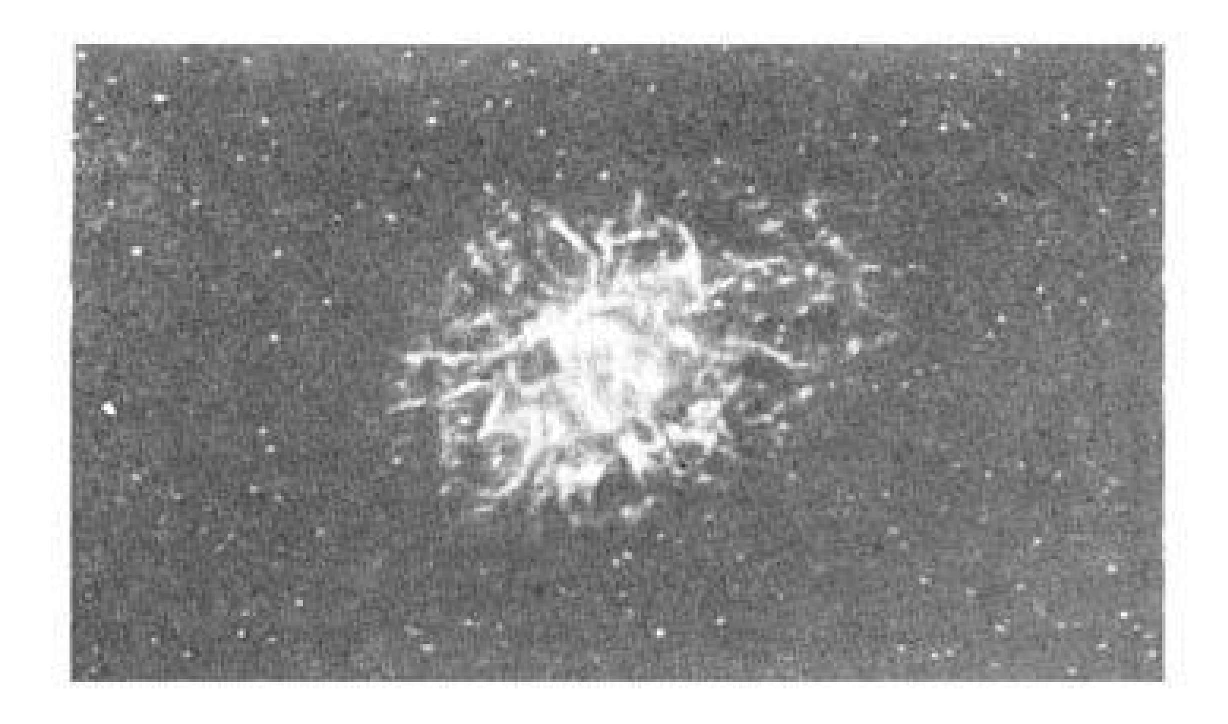


Fig. 16. Fotografía de la nebulosa Cangrejo

ción electromagnética no térmica de los objetos cósmicos, provocada por el movimiento de los electrones muy rápidos en los campos magnéticos. Tal radiación recibió el nombre de sincrotrónica, por analogía con ciertos procesos que suceden en los aceleradores de partículas cargadas.

Posteriormente se aclaró que la radioemisión sincrotrónica es una particularidad característica de una serie de fenómenos cósmicos. En particular, precisamente tal naturaleza tiene la radioemisión de las radiogalaxias.

En lo que se trata de la fuente de energía, en la nebulosa Cangrejo tal fuente fue la explosión de la supernova. ¿Y en las radiogalaxias?

Numerosos hechos confirman que de fuente de energía de su radioemisión sirven, por lo visto, los procesos físicos activos que transcurren en los núcleos de dichos sistemas estelares.

Como muestran las observaciones astronómicas, en las partes centrales de la mayoría de las galaxias conocidas por nosotros hay unas formaciones compactas que poseen un campo magnético bastante fuerte. Dichas formaciones fueron nombradas núcleos. No pocas veces en el núcleo está concentrada la mayor parte de la radiación de toda la galaxia. También nuestra Galaxia tiene núcleo. Como han mostrado las observaciones por radio, de éste va saliendo continuamente el hidrógeno. Durante un año se expulsa una masa de gas igual a una y media masa del Sol. ¿Es poco? Pero si se toma en consideración que nuestro sistema estelar existe más de 10 mil millones de años, no es difícil calcular que durante este tiempo de su núcleo fue expulsada una cantidad colosal de materia. Además hay serias razones para suponer que los fenómenos hoy día registrados no son sino unas réplicas débiles de los procesos mucho más impetuosos que transcurrieron en el núcleo de nuestra Galaxia, cuando ésta era más joven y más rica en energía. Esta idea es sugerida por unos fenómenos bastante activos que estamos observando en los núcleos de algunas otras galaxias.

Así, por ejemplo, en la galaxia M 82 se observa la salida de chorros de gas hacia todas partes del núcleo con unas velocidades de hasta 1500 km/s. Por lo visto, este fenómeno está enlazado con una explosión que tuvo lugar hace unos millones de a os en el núcleo de dicho sistema estelar. Según ciertos cálculos, su energía

fue verdaderamente colosal: corresponde a la energía de la explosión de una carga termonuclear, cuya masa es igual a la masa de unas decenas de soles. Lo cierto es que últimamente se expresan ciertas dudas con respecto a la explosión en la M 82. Sin embargo, se conoce una serie de galaxias más, en cuyos núcleos transcurren fenómenos no estacionarios excepcionalmente potentes.

En 1963 fueron descubiertos a unas distancias muy grandes de nuestra Galaxia unos objetos sorprendentes que recibieron el nombre de quasares. En comparación con las enormes islas estelares, galaxias, los quasares son insignificantemente pequeños. Pero cada uno de ellos emite centenares de veces más energía que las galaxias más gigantescas conocidas por nosotros, que constan de centenares de miles de millones de estrellas.

El descubrimiento de los quasares, así como cualquier otro descubrimiento, resultó inesperado: una de aquellas sorpresas asombrosas que de tiempo en tiempo nos regala y ha de regalar un Universo infinitamente variado. Los físicos y astrofísicos no sólo no podían suponer de antemano la existencia de objetos semejantes, sino que si antes del descubrimiento de los quasares les hubiesen descrito sus propiedades, los científicos, según la opinión del conocido astrofísico I. D. Nóvikov, seguramente declararían que tales objetos en general no podían existir en la naturaleza.

No obstante, los quasares existen, y su naturaleza física necesita explicación. Sin embargo, todavía no existe tal explicación admitida por todos. Se exponían diferentes suposiciones, una parte de las cuales posteriormente fue descartada, otra se sigue discutiendo. Pero todavía queda sin aclarar qué procesos físicos pueden conducir a la liberación de unas cantidades de energía tan grandiosas.

Al mismo tiempo se han logrado unos éxitos considerables en la solución de otro problema: ¿qué lugar ocupan los quasares en la serie de diferentes objetos cósmicos? ¿Son unas formaciones únicas, una exclusión peculiar de la regla general o bien una etapa normal en el desarrollo de los sistemas cósmicos?

Tal planteamiento del problema es característico para todo el espíritu de la astrofísica moderna. Si hace relativamente poco los investigadores del Universo se interesaban principalmente por el estudio de las propiedades físicas que caracterizan el estado moderno de uno u otro objeto cósmico, hoy en día han salido en primer plano la investigación de su historia, sus estados antecedentes, las leyes de su origen y desarrollo. Semejante enfoque ha sido resultado de comprender el hecho de que vivimos en un Universo expansivo no estacionario, cuyo pasado difiere de su estado actual, y el estado actual, del futuro.

A la luz de estas ideas adquiere especial interés la aclaración del posible enlace afín entre diferentes objetos no estacionarios. En particular, resultó que las radiogalaxias, por su estructura y propiedades ópticas, no representan nada excepcional. Resulta que para cualquier radiogalaxia puede hallarse una galaxia «normal» parecida, que difiere sólo por la ausencia de radioemisión. Esto quiere decir, por lo visto, que la capacidad de emitir flulos potentes de ondas de radio surge sólo en cierta etapa de evolución de las galaxias de uno u otro tipo. Un fenómeno peculiar «de edad» que llega en una etapa determinada de existencia de los sistemas estelares, para luego desaparecer ...

Tal suposición es aún más verosímil dado que las radiogalaxias son mucho menos numerosas que las «normales».

¿No serán en este caso los quasares, estas

«fábricas de energía» superpotentes, también cierta etapa de desarrollo de los objetos cósmicos, quizás, una de las más tempranas? En todo caso, el análisis de la radiación electromagnética de los quasares pone al descubierto cierta semejanza entre éstos y los núcleos de algunos tipos de radiogalaxias.

B. A. Vorontsov-Veliamínov, conocido astrónomo moscovita, prestó atención a un hecho bastante curioso. Casi todos los quasares conocidos por nosotros (se han registrado ya más de mil quinientos) son objetos solitarios. Por otro lado, las radiogalaxias con propiedades afines forman parte, como regla, de los enjambres de galaxias, y son sus miembros principales, centrales, los más brillantes y activos.

En relación con esto, B. A. Vorontsov-Veliamínov expresó la suposición de que los quasares no son sino «protoacumulaciones» de las galaxias, es decir, objetos, como resultado de la evolución ulterior de los cuales surgían galaxias y enjambres de galaxias.

A favor de tal suposición habla, por ejemplo, la actividad de los núcleos de las galaxias, muy parecida a la actividad de los quasares, aunque no tan impetuosa. Unos procesos especialmente violentos transcurren en los núcleos de las llamadas galaxias Seyfert. Dichos núcleos tienen unas dimensiones muy pequeñas, comparables con las de los quasares, y como éstos poseen una radiación electromagnética excepcionalmente potente. Dentro de ellos suceden los movimientos del gas con velocidades enormes que alcanzan miles de kilómetros por segundo. En muchas galaxias Seyfert se observan las erupciones de las nubes gaseosas compactas con unas masas de decenas y centenares de masas solares. En este caso se libera una energía colosal. Así, por ejemplo, en el núcleo de la galaxia Seyfert NGC

1275 (radiofuente Perseo-A) alrededor de 5 millones de años atrás (en el tiempo de esa galaxia se produjo una explosión más fuerte acompañada) de la erupción de chorros de gas con unas velocidades de hasta 3000 km/s. La energía de expansión del gas es aquí dos órdenes superior a la de la galaxia M 82.

Una clase más de galaxias con núcleos activos, que poseen una radiación ultravioleta anormalmente fuerte, fue descubierta por el astrónomo soviético B. E. Markarián. Por lo visto, la mayor parte de esas galaxias pasa actualmente la época que sigue a la erupción, o como dicen los astrónomos, la etapa posteruptiva.

No se excluye que la energía de radiación de los quasares y la actividad de los núcleos de las galaxias son engendradas por procesos físicos afines

Como ya hemos dicho, los quasares son objetos muy alejados. Y cuanto más lejos de nosotros se halla uno u otro objeto cósmico, tanto más remoto es su pasado que estamos observando. Las galaxias, incluso las galaxias con núcleos activos, están ubicadas, en término medio, más cerca que los quasares. Por tanto, esos objetos son de una generación más tardía: tenían que formarse más tarde que los quasares. Es también una muestra de no poca importancia de que los quasares sean, posiblemente, núcleos de las galaxias.

En lo que se refiere a la naturaleza de los procesos físicos que garantizan el desprendimiento de energía de los quasares, con este respecto hay una hipótesis interesante.

Galaxias con dobles núcleos

El descubrimiento de la actividad de los núcleos de las galaxias, enjambres compactos de materia que tienen numerosas islas estelares del

Universo, ha sido uno de los logros más grandes de la astrofísica de la segunda mitad del siglo XX. El científico soviético, el académico V. A. Ambartsumián, fue el primero en apreciar la enorme importancia de este fenómeno para la comprensión de los procesos físicos en el Universo y señaló el papel fundamental de los núcleos de las galaxias en su evolución.

Actualmente los astrónomos conocen un gran número de galaxias, cuyos núcleos manifiestan actividad elevada. La mayor parte de ellas fue descubierta por los científicos del observatorio Biurakán de la Academia de ciencias de la RSS de Armenia. El académico de la AC de Armenia B. E. Markarián descubrió más de 1200 islas estelares que poseen una radiación ultravioleta anomalmente fuerte. Centenares de galaxias semejantes fueron registrados por otros colaboradores del observatorio Biurakán.

El estudio de las galaxias de Markarián condujo a resultados sumamente interesantes. Primero, resultó que a éstas pertenecen los sistemas estelares de tipos y tamaños más variados y, segundo, se aclaró que esas galaxias están distribuidas más o menos uniformemente por todo el Universo. Esto quiere decir que las galaxias con radiación ultravioleta excesiva no representan ni mucho menos ninguna exclusión, sino que son, por lo visto, una etapa normal en la evolución de los sistemas estelares.

Pero tiene un valor especialmente importante el hecho de que la mayor parte de las galaxias de Markarián manifiesta indicios claros de actividad y que esta actividad está enlazada con sus núcleos. En una serie de casos tiene un carácter explosivo expresado con gran claridad. Así, debido a las observaciones de la galaxia Markarián 6, realizadas durante varios años por los astrónomos de Biurakán, se logró establecer que del

núcleo de ese sistema estelar se desprendieron dos nubes de hidrógeno en direcciones diametralmente contrarias. Dichas nubes se mueven con una velocidad colosal de alrededor de 3 mil kilómetros por segundo. Pero en ciertas galaxias «ultravioletas» las velocidades de movimiento del gas alcanzan un valor aun más grande: hasta 5 mil kilómetros por segundo.

Es curioso que diferentes galaxias de Markarián manifiestan distintas formas de actividad, pero estas formas no tienen relación alguna con la estructura de las propias galaxias, ni con las particularidades de sus núcleos. Esta circunstancia indujo a los astrónomos biurakaneses a exponer la suposición de que la actividad es manifestada no por el núcleo en total, sino por cierto objeto encerrado dentro de éste.

El académico Ambartsumián propuso en su tiempo una hipótesis, según la cual en los núcleos de las galaxias se encuentran enjambres de «materia preestelar». La descomposición de estos enjambres, según su suposición, va acompañada de la liberación de enormes cantidades de energía. Sería prematuro afirmar que las observaciones de los astrónomos de Biurakán de las galaxias «ultravioletas» confirman este punto de vista, pero, en todo caso, también no lo contradicen.

Existe, a decir verdad, una hipótesis más que vincula la actividad de los núcleos de las galaxias con los huecos negros que posiblemente contienen y que son las principales fuentes de energía.

Sólo las futuras investigaciones mostrarán cuál de esas dos hipótesis corresponde más a la verdad. Sin embargo, durante el estudio de las galaxias de Markarián fue descubierto un fenómeno más, difícilmente enlazado con los huecos negros. Debido a las observaciones realizadas en el telescopio soviético de 6 metros, el más grande en el

mundo, fueron descubiertos núcleos dobles y más complejos en una serie de galaxias de Markarián. Resultó en este caso que cuanto más distantes se hallan uno de otro los componentes de tales núcleos pares, tanto mayor es el número de diferentes detalles estructurales que poseen: erupciones, chorros, gérmenes de ramales en espiral.

Da la impresión de que la formación de diferentes detalles estructurales sucede a medida del alejamiento de los componentes de los núcleos pares unos de otros. ¿No significará esto que los núcleos pares se forman debido a la descomposición de un objeto compacto primitivo?

El estudio siguiente de las galaxias «ultravioletas» con núcleos pares contribuirá a la respuesta a esta pregunta muy importante.

Huecos negros en el Universo

Ultimamente ha adquirido gran popularidad en la astrofísica la hipótesis de los llamados «huecos negros».

El siglo veinte trajo consigo una serie de descubrimientos asombrosos en la física y la astronomía. Tiene lugar una reacción en cadena peculiar: se descubren fenómenos singulares, y su estudio y comprensión siguiente conduce al descubrimiento de unos fenómenos aún más sorprendentes. Así es el camino lógico del desarrollo de las ciencias naturales.

Uno de los objetos cósmicos más raros, aunque, verded es, todavía «teóricos», que en los últimos años atrae especial atención de los físicos y astrofísicos, son los huecos negros. El nombre por sí mismo vale algo: ¡huecos en el Universo, y además negros!

De acuerdo con la teoría general de la relatividad de Einstein, las fuerzas de gravitación están vinculadas directamente con las propiedades del

espacio. Cualquier cuerpo no sólo existe simplemente en el espacio por sí mismo, sino que determina su geometría. En una ocasión un periodista emprendedor se dirigió a Einstein con la petición de exponer la esencia de su teoría en una sola frase, pero de tal manera que fuese comprensible al amplio público. «Antes se creía —replicó Einstein— que si del Universo desapareciera toda la materia, el espacio y el tiempo se conservarían; la teoría de la relatividad afirma que junto con la materia desaparecerían también el espacio y el tiempo».

Todas las masas curvan el espacio circundante. En la vida cotidiana prácticamente no sentimos esta curvatura, dado que nos encontramos generalmente con unas masas relativamente reducidas. Sin embargo, en los campos de gravitación muy fuertes ese efecto puede adquirir una importancia considerable.

Ultimamente en el Universo se ha descubierto una serie de fenómenos que testimonian sobre la posibilidad de la concentración de masas enormes en unas zonas de espacio relativamente pequeñas.

Si cierta masa de materia se encuentra en un volumen pequeño, crítico para la masa dada, entonces esa materia empieza a comprimirse bajo la acción de la propia gravitación. Llega una catástrofe gravitatoria peculiar, el colapso gravitatorio.

En el proceso del colapso crece la concentración de la masa. Crece también, de acuerdo con la teoría general de la relatividad, la curvatura del espacio. Al fin y al cabo llega un momento, a partir del cual ni un rayo de luz, ni una partícula, ni una señal física puede «evadirse» de tal formación hacia afuera. Esto es el hueco negro.

Para un observador exterior tal objeto como si dejara de existir, pues de él no llega ninguna in-

formación: es que cualquier información no puede propagarse por sí misma, debe tener un portador material.

Al radio del cuerpo en colapso, con el cual se convierte en un hueco negro, se le dio el nombre de gravitacional. Para la masa del Sol, el radio gravitacional es igual a 3 km, para la masa de la Tierra, 0,9 cm. Si el Sol se contrajera hasta el tamaño de una esfera con el radio de 3 km, se convertiría en un hueco negro.

En una superficie, cuyo radio para la masa dada es igual al gravitacional, la fuerza de gravitación se hace infinitamente grande. Para vencerla, sería necesario desarrollar la segunda velocidad cósmica, que es superior a la velocidad de la luz. Por eso el hueco negro no deja escapar nada. Al mismo tiempo puede absorber la materia circundante aumentando de tal manera su tamaño. Así pues, la posibilidad de la existencia de huecos negros puede explicarse también desde el punto de vista de la mecánica clásica de Newton. Pero para describir todo el complejo de fenómenos enlazados con los huecos negros, es necesario aplicar la teoría general de la relatividad.

En particular, según esta teoría, la marcha del tiempo se retarda en un campo gravitatorio fuerte. Por eso para un observador exterior, el proceso de caída de cualquier cuerpo en el hueco negro debe transcurrir un tiempo infinitamente largo. Para tal observador, el proceso de contracción de la materia se para físicamente al acercarse al radio gravitacional. Un cuadro diferente vería un observador imaginario que cae junto con la materia en un hueco negro. Durante un lapso de tiempo finito alcanzaría el radio gravitacional y seguiría cayendo al centro del hueco negro. Algo así sucede también con la materia en colapso: al atravesar el radio gravitacional, ésta sigue comprimiéndose.

De acuerdo con las conclusiones de la astrofísica teórica moderna, los huecos negros pueden ser las etapas finales en la vida de las estrellas macizas. Mientras que en la parte central de la estrella funciona la fuente de energía, la temperatura alta conduce a la expansión del gas que trata de «apartar» las capas suprayacentes. Al mismo tiempo la fuerza colosal de gravitación de estrella «atrae» esas capas hacia el centro. Pero una vez gastado totalmente el «combustible» en las entrañas de la estrella, la temperatura en su parte central desciende poco a poco. El equilibrio se quiebra, y la estrella empieza a comprimirse bajo la acción de su propia gravitación. Su destino ulterior depende del valor de la masa. Como muestran los cálculos, si la estrella es 3 ... 5 veces más maciza que el Sol, su contracción en la etapa final puede conducir al colapso gravitatorio y la formación de un hueco negro.

Hace unos años fue descubierto un objeto cósmico en la constelación del Cisne que muy posiblemente es un hueco negro. Es un objeto obscuro con una masa igual a catorce masas del Sol. Por lo demás, la comprobación de que el objeto en el Cisne es verdaderamente un hueco negro, pertenece al futuro.

Al mismo tiempo se expresan cada vez más frecuentemente las suposiciones de que en los núcleos de las galaxias y los quasares pueden encontrarse huecos negros supermacizos, los cuales son precisamente las fuentes de actividad de esos objetos cósmicos.

Tales huecos negros son capaces de absorber la materia circundante, cuya energía de movimiento puede transformarse en el campo gravitatorio en otras formas de energía. En particular, fue hecho un descubrimiento interesante relacionado con la galaxia M 87 (radiofuente Virgen A) que hacía mucho que atraía la atención. En

la fotografía de esta galaxia se ve claramente un chorro lanzado del núcleo, que está constituido por unos enjambres de gas aislados con una masa total de alrededor de 10 millones de masas solares y que se mueven con una velocidad del orden de 3000 km/s. Esto habla sobre la gran fuerza de la explosión que sucedió en el núcleo.

Las observaciones han mostrado lo siguiente: si a cierta distancia del núcleo la distribución de la materia en M 87 corresponde a la distribución corriente de las estrellas en las galaxias, cerca del centro está concentrada en un volumen muy reducido una masa colosal de poca fluorescencia igual a 6 mil millones de masas solares. Esto posiblemente sea un gigantesco hueco negro que excita la actividad del núcleo, pero puede ser una formación muy densa de naturaleza desconocida.

El Universo y el neutrino

Ya hemos notado más de una vez directa o indirectamente una ligazón estrecha entre la física y la astrofísica. Por un lado, el Universo se convierte en un labaratorio de la física moderna. Por otro, los nuevos descubrimientos físicos, en un grado u otro reanimados por las investigaciones astrofísicas y los problemas astronómicos, ejercen a su vez una influencia inevitable sobre el siguiente desarrollo de las nociones astrofísicas. ¡Así es la reacción peculiar en las relaciones y la compenetración de esas ciencias, así es la dialéctica del conocimiento!

Entre doscientos y pico partículas elementales conocidas por los físicos modernos, hay una partícula sorprendente llamada neutrino. De acuerdo con las nociones teóricas que existían durante largo tiempo, esta partícula está exenta de la llamada masa de reposo: siempre se mueve con una velocidad exactamente igual a la velo-

cidad de la luz. No obstante, por otro lado, la teoría no prohibía la posibilidad de la existencia de una masa del neutrino diferente de cero. Este hecho indujo a un grupo de científicos del Instituto de la física teórica y experimental de la Academia de Ciencias de la URSS a realizar una serie de experimentos para aclarar el verdadero valor de la masa de los llamados neutrinos electrónicos. El resultado, todavía preliminar, fue en cierta medida sensacional: los científicos llegaron a la conclusión de que la masa del neutrino no es igual a cero, sino que constituye en unidades energéticas de 14 a 16 electrón-voltios. Una masa no muy grande: dentro de los límites de treinta diezmilésimas a una diezmilésima de la masa del electrón, pero el propio hecho de su existencia, si se confirma, traerá consigo unas consecuencias bastante graves para nuestras nociones del Universo ...

Uno de los problemas actuales de la astronomía moderna es el de la energía intersolar e interestelar. Hasta hace poco se consideraba que las reacciones termonucleares de la síntesis del helio del hidrógeno son la fuente de esa energía. Esta noción era tan fija que se creía una de las ideas indiscutibles de la astrofísca moderna. Y de pronto, ¡una duda!

Ya hemos dicho que si en las entrañas de nuestro astro diurno de verdad transcurre una reacción termonuclear, allí deben nacer los neutrinos. Gracias al poder de penetración colosal que poseen dichas partículas, reaccionando bastante débilmente con la materia, éstas «escaparán» libremente al espacio circunsolar y una parte determinada de ellas alcanzarán la Tierra. Fue construida una instalación especial para el registro de los neutrinos solares, y se realizaron observaciones. Sin embargo, el resultado fue sumamente inesperado: el flujo de neutrinos resultó varias

veces inferior al predicho por la teoría. Como se ha notado más arriba, para explicar dicho fenómeno se expuso una serie de hipótesis, incluso la suposición de que como principal fuente de energía del Sol y las estrellas sirven no las reacciones termonucleares, sino algunos otros procesos físicos, quizás desconocidos por nosotros. El problema hasta ahora queda sin resolver.

Pero si se confirma la existencia de masa finita del neutrino, aparecerá una posibilidad más de explicar el resultado negativo de los experimentos para registrar los neutrinos solares. Es que en la naturaleza existen neutrinos de tres diferentes tipos. Como consideran los teóricos, los neutrinos de un tipo, con masa diferente de cero, pueden convertirse espontáneamente en neutrinos de otro tipo. Por eso puede imaginarse tal cuadro: aquellos neutrinos que nacen en las entrañas del Sol y para el registro de los cuales están destinados los detectores modernos, en el camino hacia la Tierra pueden convertirse en neutrinos que no se registran por esos detectores.

La existencia de masa finita del neutrino introducirá unos cambios muy considerables también en las nociones cosmológicas existentes. Como se sabe, las propiedades geométricas de nuestro Universo están enlazadas de una manera muy estrecha con la densidad media de la masa. Si esta densidad es superior a cierta magnitud crítica, que constituye aproximadamente 10^{-29} g/cm^3, el espacio del Universo es cerrado y finito. De acuerdo con los datos astrofísicos existentes hasta hoy día, la densidad media se evaluaba por debajo del valor crítico. Los neutrinos pueden corregir esta evaluación de manera bastante ostensible. Según los datos existentes, a cada protón que se encuentra en el Universo (se trata de los protones dado que el hidrógeno es el ele-

mento químico más difundido en la naturaleza) le tocan aproximadamente mil millones de neutrinos. De esta manera, si el neutrino tiene de hecho una masa finita, entonces hasta a condición de que ésta ceda a la masa del protón unas decenas de millones de veces, ¡la masa total de los neutrinos en el Universo excede aproximadamente 30 veces de la masa de la materia corriente! Es muy probable que todos los astros, planetas, nebulosas y galaxias sean solamente una ínfima adición al fondo de los neutrinos del Universo. Esto significaría, a su vez, que la densidad media de la masa supera mucho la crítica. Y, por consiguiente, nuestro Universo es cerrado y finito, y su expansión debe sustituirse con el tiempo (dentro de varios miles de millones de años) por la contracción.

Pero esto todavía no es todo. Como se sabe, el Universo moderno es homogéneo sólo en una escala lo suficientemente grande. Si se examinan zonas relativamente pequeñas del espacio, no habrá homogeneidad: la materia cósmica está concentrada en las islas estelares, galaxias, y las acumulaciones de galaxias. Según la teoría del Universo expansivo caliente, dichos objetos cósmicos tenían que formarse en cierta etapa de expansión debido al desarrollo de las homogeneidades del medio. El proceso debía transcurrir más o menos de la manera siguiente. En una de las etapas relativamente tempranas de expansión hubo una fase de homogeneidad con pequeñas fluctuaciones surgidas en virtud de la inestabilidad gravitatoria. En algunas regiones del espacio pudo haber un poco más de materia, en otras, un poco menos. Si las fuerzas elásticas exceden las gravitatorias, la heterogeneidad puede disiparse. Pero si el volumen abarcado por las perturbaciones es lo suficientemente grande, entonces surge la inestabilidad gravitatoria. De esta ma-

nera, las fluctuaciones de escala lo suficientemente grande deben crecer. La hipótesis de la formación de las galaxias debido a la fragmentación del medio por la inestabilidad gravitatoria se elabora exitosamente por el académico Y. B. Zeldovich y sus colaboradores.

No obstante, esta hipótesis tropieza con ciertas dificultades. Una de ellas está enlazada con los datos de las observaciones radioastronómicas.

Hoy en día, el Universo es absolutamente transparente para los cuantos de la radiación relicta *): se mueven prácticamente sin experimentar absorción. Pero en el pasado, cuanto todas las escalas eran aproximadamente 1000 veces menores, el Universo era absolutamente no transparente para los cuantos de la radiación electromagnética: ésta se dispersaba por completo. Si en aquella época el medio era completamente homogéneo, la radiación relicta tenía que ser absolutamente isótropa, su intensidad en cualquier dirección debería ser igual.

Pero el Universo moderno, como ya se ha dicho más arriba, no es idealmente homogéneo: tiene islas estelares—galaxias y acumulaciones de galaxias. Y si estos objetos realmente se formaron a partir de los «gérmenes» que surgieron bajo la acción de la inestabilidad gravitatoria, en la etapa correspondiente de la evolución el medio cósmico ya no era absolutamente homogéneo. En este caso también la radiación relicta no puede ser absolutamente isótropa, en ésta deben observarse fluctuaciones de pequeña escala. Para descubrirlas, se realizaron numerosas mediciones de la intensidad de la radiación relicta en grandes radiotelescopios, incluso en el radiotelescopio soviético único PATAH-600. Sin embargo, no

---

*) Véase la p. 155.

se pudo descubrir ningunas fluctuaciones de pequeña escala a un nivel muy alto de precisión, si la magnitud de los «gérmenos» se calcula partiendo de las dimensiones de las acumulaciones de galaxias modernas. ¡Surge un enigma difícil de resolver! Es que las galaxias y sus acumulaciones tenían que formarse de algo. Si no de las heterogeneidades del medio, ¿de qué entonces? Todavía no se disciernen ningunas otras posibilidades verosímiles.

La existencia de masa finita del neutrino podría eliminar también esta dificultad. En la etapa más temparana de expansión del Universo en el gas de neutrinos que llenaba el espacio, podían surgir pequeñas heterogeneidades casuales. Sin embargo, los neutrinos en ese período tenían una energía muy alta y se movían con unas velocidades próximas a la de la luz. La fuerza de gravitación de pequeñas acumulaciones era insuficiente para retener tales neutrinos. Y éstos se descomponían poco a poco, se disipaban.

Sin embrago, a medida de la expansión, las velocidades de los neutrinos disminuían y, como muestran los cálculos, aproximadamente dentro de 300 años después del momento inicial las acumulaciones lo suficientemente macizas ya podían «captarlos». Esas acumulaciones tenían que poseer una masa del orden de 10^{15} de masas solares. Se hacían paulatinamente cada vez más macizas incorporando con su potente atracción a nuevos neutrinos, y pasados alrededor de un millón de años después del comienzo de la expansión, también a la materia corriente, el gas neutro. Acumulándose en las partes centrales de las heterogeneidades de neutrinos invisibles, formaban las acumulaciones de galaxias que observamos. De acuerdo con los cálculos, la masa de esa materia era unas decenas de veces menor que la masa total de las acumulaciones de neutrinos.

De esta manera, la mayoría aplastante de la masa de las heterogeneidades primarias, a partir de las cuales posteriormente se formaron las acumulaciones de galaxias, era «invisible» para la radiación relicta y no podía conducir a los defectos de su isotropía. La masa de la materia corriente, que integraba las heterogeneidades de neutrinos, evidentemente no alcanza para provocar tales fluctuaciones de la intensidad de la radiación relicta que pudieran ser descubiertas con ayuda de los instrumentos modernos. De ahí que si el neutrino tiene masa finita, la contradicción entre la teoría moderna del origen de las galaxias y los resultados de la observación de la radiación relicta se anula totalmente.

Existe, por fin, un problema más de gran importancia, en la solución del cual la revelación de la masa finita del neutrino puede dar la claridad que falta.

Durante una serie de años, a los astrofísicos les inquieta el problema de la llamada masa latente. Es que la masa de las acumulaciones de galaxias puede determinarse mediante dos métodos. Primero, por la luminosidad: cuanto mayor es la masa de las acumulaciones, tanto más alta es su luminosidad. Y segundo, por la ley de la gravitación, partiendo de la observación de los movimientos recíprocos de las galaxias en las acumulaciones. Resultó que las masas de unas mismas acumulaciones, determinadas por diferentes métodos, no coinciden: las masas calculadas según la ley de la gravitación superan muchas veces las masas calculadas según la luminosidad. Una de las posibles explicaciones consiste en el hecho de que en las acumulaciones hay objetos no luminosos, los cuales hacen su aportación en su masa total, pero que no se reflejan de ninguna manera en la luminosidad. Precisamente esas «masas latentes» aceleran las galaxias en

las acumulaciones hasta grandes velocidades. Ha surgido el problema: ¿cuál es la naturaleza de las «masas latentes»?

Se expuso una serie de suposiciones: el gas, el polvo, las estrellas de poco brillo, los huecos negros. Sin embargo, ninguna de ellas, por unas u otras razones, daba una respuesta satisfactoria al problema planteado. La situación hasta hoy queda hasta cierto grado indeterminada. La precisión la pueden introducir los neutrinos. Si esas partículas tienen una masa finita, su aportación en la masa total de las acumulaciones de las galaxias es capaz de cubrir el déficit enigmático de masa que surge durante los diferentes métodos de su determinación.

Pero todo esto, si ... Ahora volvamos una vez más a la cuestión sobre la masa del neutrino. ¿En qué medida puede considerarse auténtica la conclusión de que esa masa no es igual a cero?

Como se sabe, la existencia del neutrino fue predicha estudiando la llamada desintegración beta, el proceso físico, durante el cual el núcleo de un elemento químico emite un electrón y se convierte en el núcleo de otro elemento químico. Se notó que la energía del electrón que sale en una serie de casos resultaba menor que lo que se desprendía de los cálculos teóricos W. Pauli, célebre físico suizo, supuso que la energía que falta se la lleva consigo una partícula neutra todavía desconocida por la ciencia, que reacciona débilmente con la materia quedando por eso inadvertida. Esta partícula era precisamente el neutrino.

Pero el mismo proceso de desintegración beta puede servir, en principio, de indicador indirecto para aclarar la cuestión sobre la masa del neutrino. Por este camino se dirigían los físicos soviéticos. Para la medición fue utilizado el proceso de descomposición beta del tritio, du-

rante el cual los núcleos de los átomos de este elemento, al emitir los electrones, se convierten en núcleos de los átomos del isótopo de helio. Si la masa del neutrino es igual a cero, entre los electrones emitidos por los núcleos del tritio deben estar presentes los que poseen la máxima energía posible para este proceso. En el caso de tener los neutrinos una masa finita, la energía máxima de los electrones emitidos será un poco menor, dependiendo la diferencia del valor de la masa del neutrino.

Precisamente debido a tal serie de experimentos, realizados en el Instituto de la física teórica experimental, se sacó la conclusión previa de que el neutrino tiene una masa diferente de cero.

También los físicos norteamericanos se ocupaban en los últimos años del problema de la masa del neutrino. En sus mediciones partían del hecho de que los neutrinos de una «especie», si tienen masa finita, pueden convertirse en neutrinos de otra «especie», mientras que para la masa cero tales transformaciones no pueden tener lugar. Los científicos, que realizaron los experimentos correspondientes, informaron que las transiciones en cuestión fueron descubiertas por ellos. La verdad es que evaluaron el valor de la masa del neutrino un poco inferior que los científicos soviéticos. No obstante, algún tiempo después aparecieron las informaciones que ponían en tela de juicio a este resultado.

De esta manera, la situación sigue siendo indeterminada, y para una conclusión segura se necesitarán numerosos experimentos y observaciones. Pero surge una comparación curiosa. Al descubrimiento del neutrino condujo la necesidad de explicar la falta de energía durante la descomposición beta. El neutrino, con su propia existencia, descifró el enigma aparecido. ¿Tal vez, la situación se repite en cierta medida? En la astro-

física moderna, como hemos visto, existe una serie de enigmas que tendrían solución en el caso de poseer el neutrino masa finita. Una vez se pudo explicar con ayuda del neutrino la falta de energía, quizás ahora se pueda explicar la falta de masa. Como ha señalado justamente un célebre astrofísico, si resulta que la masa del neutrino de todas maneras es nula, se tendrá que «inventar» otra partícula que reacciona muy débilmente con la materia, pero que tiene masa finita.

Por supuesto, las analogías en la física y la astronomía no tienen demostrabilidad, pero sí pueden y deben estimular las investigaciones ulteriores en el estudio de la cuestión sobre la masa del neutrino.

Precisamente por esta razón el problema de las consecuencias astrofísicas posibles de la existencia de masa fínita del neutrino merece una discusión detallada ya ahora, aunque todavía es temprano hacer una conclusión definitiva sobre la presencia o falta de tal masa.

Búsqueda de vida razonable en el Universo

El problema de vida en el Universo y de civilizaciones extraterrestres atrae en los últimos años la atención no sólo de los especialistas, sino de los círculos más amplios de gente. A pesar de que hasta ahora no hemos podido descubrir ni un solo organismo vivo extraterrestre, las ciencias naturales modernas han alcanzado un nivel tan alto de desarrollo que surgió la posibilidad de plantear el problema de la vida fuera de la Tierra, en otros mundos cósmicos, apoyándose sobre una base científica sólida. Actualmente en esta rama se realizan investigaciones científicas serias, en las cuales participan activamente los representantes de varias ciencias.

Puede parecer a primera vista que los datos, que están al alcance de los científicos, testimonian casi unívocamente sobre una amplia difusión de la vida razonable en el Universo. Primero, si los organismos vivos han aparecido en la Tierra por vía natural y normal en el proceso de evolución de nuestro planeta, es lógico suponer que pueden aparecer en otros cuerpos celestes del tipo planetario. Segundo, el carbono, que constituye la base química de toda materia viva, es uno de los elementos químicos más difundidos en el Universo. Por fin, tercero, está establecido, mediante los métodos de la llamada astronomía molecular, que en las nubes de gas y polvo que llenan el espacio interestelar, sucede la síntesis de las moléculas orgánicas complejas, unos «ladrillos» peculiares, de los cuales puede construirse la materia viva.

Sin embargo, en realidad todo es mucho más complicado. Por lo visto, aquellas moléculas orgánicas que se han formado en el espacio cósmico, deben descomponerse durante la formación de los planetas a partir de la materia de gas y polvo. Por lo tanto, para la aparición de organismos vivos en uno u otro planeta es necesario que en éste se formen sus propios compuestos prebiológicos. De esta manera, hasta una difusión bastante amplia de las moléculas orgánicas en el medio interestelar no puede, por lo visto, influir sobre la posibilidad del surgimiento de vida en los cuerpos del tipo planetario.

Pero lo más esencial consiste en el hecho de que la ciencia moderna, lastimadamente, no sabe todavía de qué manera en la naturaleza se efectúa el acto sorprendente de autoorganización de la materia: cómo lo no vivo se convierte en lo vivo. De hecho, la ciencia sólo acaba de comenzar el estudio de ese problema fundamental. Y cuanto

más se estudia, tanto más complejo parece. Por consiguiente, ignoramos qué complejo de condiciones es necesario y suficiente para la formación de estructuras vivas. Es por eso que no sabemos evaluar la probabilidad de la frecuencia del surgimiento de tales condiciones en el proceso de evolución del Universo. Es una de las indeterminaciones más esenciales, entre muchas otras, con las cuales tropieza el problema de las civilizaciones extraterrestres.

Huelga mencionar que los métodos de la astronomía moderna no ofrecen la posibilidad de descubrir con seguridad los sistemas planetarios hasta de las estrellas más cercanas. No obstante, no hay razones para poner en duda que entre una gran multitud de diferentes objetos que pueblan el Universo, sólo los planetas pueden servir de refugio para la vida y sobre todo para el intelecto.

La verdad es que actualmente se elaboran unos métodos nuevos, más perfectos de búsqueda de los sistemas planetarios. Sin embargo, los resultados prácticos concretos no pueden esperarse pronto.

De esta manera, es imposible dar una respuesta más o menos argumentada al nivel teórico al problema de la difusión de la vida razonable en el Universo. Los datos, de que dispone la ciencia moderna, son insuficientes para este propósito.

En relación con esto provoca un interés especial el aspecto observador de las investigaciones. Se trata de las tentativas de descubrir los radiotransmisores activos de las civilizaciones extraterrestres o algunas otras manifestaciones de su actividad práctica. En los marcos de este programa, durante las últimas décadas fueron realizados con ayuda de una serie de grandes instrumentos radioastronómicos de diferentes países,

incluso los de la Unión Soviética, los radioresúmenes de diferentes zonas del cielo estelar. Sin embargo, no se pudo detectar ni una sola «radiotransmisión» cósmica que por lo menos pareciera de origen artificial.

No se observaban en el Universo algunos otros fenómenos que se pudieran enlazar con la actividad de seres razonables, representantes de las civilizaciones extraterrestres.

Así pues, la ciencia moderna no dispone de un solo hecho que testimonie directa o indirectamente sobre la existencia de civilizaciones extraterrestres.

Se exponen diferentes puntos de vista. I. S. Shklovski, miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de la URSS, no excluye la posibilidad de que la civilización terrestre representa algo único y es singular en nuestra Galaxia y, quizás, en la Metagalaxia. La lógica de los razonamientos de Shklovski es aproximadamente la siguiente. Si se supone que en el Universo hay muchas civilizaciones, entonces tienen que disponer, en virtud de la irregularidad natural de su desarrollo, de diferentes posibilidades científicas, técnicas y tecnológicas. Deben existir civilizaciones más atrasadas que nosotros y más adelantadas. En particular, deben existir por lo menos unas cuantas «supercivilizaciones» que han dominado los recursos energéticos comparables con el desprendimiento de energía de los sistemas estelares, galaxias. La envergadura de la actividad práctica de tales supercivilizaciones debe ser tal que no habríamos podido no descubrirlas. Pero como no las descubrimos, quiere decir que las supercivilizaciones no existen. Y como no las hay, entonces tampoco hay civilizaciones extraterrestres en general. Porque si tales existieran, habrían que existir también las supercivilizaciones.

Se exponen también otras opiniones. Algunos científicos admiten que las civilizaciones de otros planetas no se manifiestan no porque no existen, sino por otros motivos. Una hipótesis curiosa propuso V. S. Troitski, miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de la URSS. Según la teoría del Universo expansivo caliente, en la etapa más temprana de evolución no existían estrellas, ni planetas, ni moléculas, ni hasta átomos. Todos estos objetos se formaron mucho más tarde. De ahí que las condiciones necesarias para la formación de estructuras vivas, se constituyeron en el Universo sólo en cierta etapa de su evolución. Precisamente en aquel entonces, según la opinión de Troitski, surgió la vida, prácticamente al mismo tiempo en diferentes mundos cósmicos. Por consiguiente, simplemente no existen civilizaciones que nos adelantaron mucho en su desarrollo. Por esta causa no las descubrimos.

Otros científicos consideran que para cualquier nivel de desarrollo de las civilizaciones, su actividad cósmica estará enlazada con unas limitaciones estrictas de carácter energético, provocadas por la necesidad de conservar ciertos parámetros físicos del medio ambiente. Por ejemplo, la creación de un radiotransmisor lo suficientemente potente, con ayuda del cual se podría realizar las transmisiones de señales dirigidas hacia todas partes a fin de entablar contactos con otros habitantes razonables del Universo, requiriría la concentración de tales cantidades colosales de energía, que esto pondría en peligro la propia existencia de la supercivilización. Además, la realización de un proyecto semejante necesitaría unos esfuerzos tan grandiosos, que una u otra civilización lo haría sólo en el caso si esto fuera para ella vitalmente necesario

Se puede estar de acuerdo con tales razonamientos o no, pero el problema sigue sin resolver. La

posición real de las cosas es la siguiente: las civilizaciones extraterrestres todavía no han sido descubiertas, y las perspectivas de su descubrimiento en un futuro visible parecen muy problemáticas.

¿Cuál es entonces el sentido del estudio del problema de las civilizaciones extraterrestres al nivel moderno? Lo ha expresado muy bien G. I. Naan, académico de la Academia de Ciencias de la RSS de Estonia: estudiando el problema de las civilizaciones extraterrestres, tratamos, ante todo, de conocer mejor a nosotros mismos.

La humanidad ha alcanzado tal grado de su desarrollo, cuando ya no podemos menospreciar el hecho de que la civilización terrestre físicamente es una parte del Universo que obedece a las leyes que la rigen. El conocimiento de esas leyes se hace cada vez más necesario para la planificación y el pronóstico de nuestra actividad práctica, sobre todo las realizaciones en escala global y cósmica. Mas resultó que al nivel moderno del desarrollo de las ciencias naturales, una de las vías más eficientes de solución de semejante problema es el estudio de la cuestión de las civilizaciones cósmicas en su forma más general. Investigamos las leyes de la existencia cósmica de las civilizaciones en general, incluso también las leyes de nuestra propia existencia cósmica. Con esto como si viéramos la civilización terrestre desde el punto de vista cósmico, la estudiamos en el «espejo cósmico».

En igual aspecto debe examinarse ante todo el llamado problema de contactos, es decir, el posible intercambio de información con las civilizaciones extraterrestres. El estudio de esta cuestión también tiene una importancia primordial, de nuevo independientemente de si se logra un día realizar dicho contacto prácticamente. La investigación del problema sobre las vías del

intercambio de información entre los seres razonables en diferentes mundos cósmicos, quienes poseen, posiblemente, unas nociones científicas desiguales del medio ambiente, también tiene numerosos enlaces con la práctica puramente terrestre, en particular, para resolver el problema de un «entendimiento recíproco» más eficiente y la conjunción del hombre con diferentes dispositivos cibernéticos.

"El travieso" (ciencia-ficción)

La nave salió a una órbita circular y ahora se movía alrededor del tercer planeta en el sistema de una estrella verde-amarilla con una temperatura superficial de alrededor de 6 mil grados. En la sala de oficiales se reunieron urgente y operativamente los dirigentes de la expedición.

—Hemos hecho un gran descubrimiento —comenzó la discusión el Jefe— que tendrá unas consecuencias de largo alcance. Hemos descubierto una civilización en otro planeta. Ahora no hay duda alguna de que no somos los únicos habitantes razonables en el Universo. ¡Tenemos en el Cosmos hermanos de intelecto!

—Poco provecho —gruñó Biólogo—. Es inútil, si es absolutamente imposible tener contacto alguno con esos hermanos de intelecto, como Vd. se ha dignado de decir.

—¿Por qué absolutamente? —replicó Físico, el más joven e impaciente entre los presentes—. Semejante conclusión me parece demasiado especulativa y por eso prematura. ¡Propongo comenzar los experimentos!

—¿Prematura? —frunció el ceño Biólogo—. ¿Acaso tengo que hacerle recordar unas cosas triviales?

— Bien, pruebe —dijo en tono pendenciero Físico.

— Comencemos con el hecho —se puso a hablar Biólogo mientras seguía a fruncirse— de que para el contacto y entendimiento recíproco son necesarias unas condiciones objetivas absolutamente determinadas ¡Y éstas no existen! Ante todo, los habitantes de ese planeta están constituidos principalmente por nucleones y electrones, mientras que nuestros cuerpos se componen de neutrinos. Así que somos para ellos invisibles e intangibles. Como también toda nuestra tecnología. Sin duda alguna, cualquier intento por nuestra parte de entablar con los habitantes de este planeta verde algunas relaciones los provocará inevitablemente un choque sicológico muy fuerte. Inclusive puede resultar para ellos mortalmente peligroso. Y Vd. quiere comenzar los experimentos...

— De todas maneras —notó Astrónomo—, yo no sería tan categórico. Es que vivimos en un mismo Universo donde rigen leyes físicas únicas. Y como quiera que la civilización descubierta por nosotros ha alcanzado un nivel bastante alto y hasta realiza vuelos cósmicos, sus conocimientos del mundo circundante no pueden diferir mucho de los nuestros. Es una razón completamente suficiente para el contacto: cuadros científicos parecidos del mundo.

— ¿Qué opina Filósofo? —se enteró Jefe.

— Creo que todo es mucho más complicado... A mi juicio, nuestro estimado Astrónomo tiene un optimismo excesivamente grande. Pero lastimadamente, este optimismo no está justificado en absoluto. Sí, habitamos en un mismo Universo. Y es el mismo tanto para nosotros como para ellos. ¡Pero dicho Universo es infinitamente variable! Tiene un sinnúmero de enlaces, relaciones, interacciones, fenómenos. Y cualquier cuadro científico del mundo, en virtud de que se ha creado durante cierto lapso finito de

tiempo, puede abarcar sólo un número finito de esos enlaces, fenómenos e interacciones. Esto quiere decir que los cuadros del mundo construidos por diferentes civilizaciones pueden no sólo no coincidir unos con otros, ¡sino hasta no intersecarse! ¿Dónde está el fundamento para el contacto?

— Pero también pueden intersecarse —replicó Físico.

— Sí, pueden, pero sólo en principio. No se olviden que la ciencia es un fenómeno social. Se desarrolla no sólo por sí misma, según su lógica interior, sino que responde, ante todo, a las necesidades prácticas de la sociedad. Disculpen que tengo que hacer recordar unas cosas tan conocidas... En una palabra, los cuadros del mundo de dos civilizaciones cósmicas pueden coincidir sólo en el caso si éstas han pasado igual camino de desarrollo social. Pero en nuestro caso, como Vds. mismos comprenden, esto se excluye de antemano. Así que... —Filósofo se quedó hecho una figura elocuente.

En la sala de oficiales reinó un silencio triste.

— Entonces, ¿qué propone? —preguntó Físico—. ¿Alejarnos sin emprender ninguna prueba?

— Lastimadamente... Aquí se ha dicho con justeza: para el contacto es necesaria una base. Un fundamento, sobre el cual se podrían construir los intentos de contacto... Es posible que sea absolutamente inesperado. Todavía no veo tal fundamento. Y no me imagino de qué manera se podría tratar de entablar contacto con esa civilización sin correr el riesgo de provocar unas consecuencias indeseables, quizás, muy graves...

— Ahora bien —dijo Jefe echando una mirada grave a los presentes—, estoy esperando proposiciones concretas.

Todos guardaron silencio.

— Está bien —concluyó Jefe—, parece que todos han llegado a una opinión única.

— De todas maneras... —de nuevo habló Físico— ¿Es posible que nos vayamos así?

— Así es la necesidad— dijo severamente Jefe—. Doy tres horas para las investigaciones complementarias de este planeta. Luego arrancamos.

En la sala de oficiales entró el oficial de guardia.

— ¡Jefe! ¡Un accidente extraordinario! Ha desaparecido la lancha de paseo.

— ¿Qué significa ha desaparecido? —Jefe miró con ceño al oficial—. La lancha no pudo desaparecer por sí misma.

— ¡A sus órdenes! Al parecer, en ella se ha ido su nieto. No está en ninguna parte de la nave.

— ¿Chak?— volvió a preguntar Jefe. Su cara se nubló—. Decía que no se puede llevar a tal expedición a una criatura— murmuró él.

— ¿Hace mucho que lo ha visto? —le preguntó físico a Jefe.

— Hace muy poco. Como siempre, me importunaba pidiendo que jugara con él. Pero le dije que hoy no estaba para jugar.

— También me pidió a mí —dijo Físico.

— También a mí —dijo Biólogo.

— También a mí —dijo Filósofo.

— Seguramente se fue a ese planeta —dijo Biólogo—. Jefe, ¡es necesario ahora mismo tomar medidas! Puede hacer lo irremediable.

— Sí, sí —replicó distraidamente Jefe—. A ver, Ru —se dirigió al oficial de guardia—, tengo que encargárselo a Ud. Coja la segunda lancha y márchese urgentemente en persecución de él. Pero obre con máxima cautela. Y recuerde: ¡ningún contacto con los aborígenes!

— ¡A sus órdenes! —respondió claramente el oficial de guardia dejando precipitadamente la sala de oficiales...

— No, ¡no sirvo! —Tim Wood estrujó con irritación la hoja de papel, en la cual acababa de escribir, y la tiró aparte.

— No sirve, no sirve —repitió varias veces mientras iba y venía rápidamente de rincón a rincón—. Seco, aburrido, sin gracia alguna. No un artículo, sino una marcha fúnebre...

Este día, después del almuerzo, Wood, sin pasar por su apartamento, llegó a su pequeña casa de campo. Lo hacía cada vez cuando surgía la necesidad de escribir urgentemente un artículo. El silencio y la soledad inclinaban lo mejor posible al trabajo. Durante largos años a Wood se le formó un reflejo peculiar: apenas el auto cruzaba el límite de la ciudad y la carretera que conducía a su «residencia de campo», como llamaba en broma a su modesta casita, se internaba en el bosque, se libraba de golpe de numerosas preocupaciones cotidianas, de la constante tensión aumentada por la agitación de una gran ciudad; la conciencia se aclaraba y los pensamientos, que allá en el gabinete escaso de la redacción tenía que exprimir a la fuerza, ahora nacían por sí mismos, libre y desembarazadamente... No pocas veces, al salir del coche, Tim ya «tenía en la mente» el artículo hecho. Sólo faltaba ponerse a la máquina y escribir lo inventado.

Pero ahora no ayudaban ni el camino pintoresco por el bosque iluminado alegremente por el sol, ni la soledad. No había ideas...

— Sabía que tarde o temprano esto pasaría —pronunció lúgubremente Wood mientras seguía paseando por el cuarto. En general, le gustaba, al trabajar, razonar en voz alta: esto ayudaba a pensar—. El lector exige sensaciones. ¿Acaso se puede sorprender la gente moderna con algo? No obstante, ¡todo el mundo ansia lo inverosímil! No desean leer simplemente sobre los descubrimientos científicos, hasta los más remarcables,

Hay que ofrecerles obligatoriamente algo que se sale de la regla... Por lo demás, Wood comprendía muy bien en el fondo del alma que las sensaciones las exigían no tanto los lectores como el redactor. Ya hacía mucho que estaba acostumbrado a escribir ante todo para el redactor y se resignó con esto.

— ¡Diablo! ¡No puedo inventar sensaciones sin parar! Tienen que ser no sólo extraordinarias, sino también verosímiles. Esto es todo... ¡Me he consumido! Esto es el fin...

Wood puso fin a sus vacilaciones y se desplomó en un sillón. Su vista se apagó, se hizo indiferente y ausente.

No se sabe cuánto tiempo permanecería en tal estado, si su atención no fuera atraída por un fenómeno extraño. Directamente delante de él, en un espacio ancho entre dos ventanas, pendían tres paisajes en cuadros de madera regalados a Wood por un pintor amigo. Colgaban de unos cordones de seda atados a un tubo metálico fino sujetado debajo del propio techo. A Wood le pareció que los tres cuadros comenzaron a correr lentamente pared arriba, como si alguien girase el tubo enrollando los cordones.

Los ojos de Tim, siguiendo el movimiento de los cuadros, saltaron de las órbitas.

— ¡Qué diablo! —murmuró él y hasta movió la cabeza para desprenderse del alucinamiento—. No he bebido hoy nada fuerte...

Los cuadros así mismo corrieron lentamente hacia abajo y ocuparon su posición de siempre.

— No, así uno se vuelve loco —Wood se levantó decididamente del sillón y, cogiendo de paso una hoja en blanco de papel, se sentó a la mesa—. Hay que trabajar.

Pensando un segundo, alargó la mano hacia un bolígrafo que estaba en el otro extremo de la mesa. Al mismo instante la retiró precipitada-

mento como si tocara un hierro candente: el bolígrafo rodó por sí mismo al otro borde de la mesa. Wood volvió a repetir, pero el bolígrafo de nuevo saltó hacia un lado.

Sin embargo, el humorismo, que más de una vez le ayudó a Wood en las situaciones más complicadas, no le faltó esta vez también.

— Esto se pone curioso —dijo sonriendo—. ¿Han aparecido fantasmas en mi casa? Sería maravilloso; me bastaría hasta el fin de mi vida.

Miró atentamente la habitación, pero no descubrió nada extraordinario. Todos los objetos estaban en sus lugares legítimos y no manifestaban nada que estuviera prohibido por las leyes de la naturaleza.

— Mira eso... —alargó Wood hasta con cierta desilusión—. Entonces, me ha parecido.

Al mismo instante la hoja de papel que estaba ante él, echó a volar y, colgando justamente delante de su cara, le hizo cosquillas en la nariz.

— ¡Magnífico! —gritó con entusiasmo Wood.— Es precisamente lo que me faltaba...

Fue corriendo hacia la máquina de escribir, puso apresuradamente una hoja en blanco y escribió el título del futuro artículo: «¡Los fantasmas regresan!»

Cambió de un tirón el carro y, parándose un instante, empezó a calcular mentalmente la primera frase. De pronto la máquina se hizo viva y, como la impresora de una máquina computadora, escribió vivamente por sí misma:

«¿No me tienes miedo?»

Wood miró atarantadamente la frase que surgió de una manera tan insólita. Pero ya empezó a enfrascarse en este juego extraño.

«¡Encantado de saludarte!» —mecanografió él la respuesta.

La máquina «calló» cierto tiempo, pero luego empezó a traquetear de nuevo por sí misma:

«Juega conmigo».

— ¡Qué cosa más grande! —gritó con admiración Wood y dio un puñetazo en la mesita con tal fuerza que la máquina, que estaba encima, soltó con tintineo—. Que me parta un rayo, nunca he oído hablar de que los fantasmas jueguen con la gente.

«No soy un fantasma —escribió la máquina—. Soy de otro planeta».

— ¡De mal en peor! —se le escapó a Wood. —¿Pero dónde estás?

La máquina empezó a funcionar de nuevo:

«Estoy cerca de tí. Pero no puedes ni verme, ni sentir, estoy hecho así. Pero te oigo... Juega conmigo».

«¿Jugar? —pensaba febrilmente Wood—. ¿Pero a qué juego puedo jugar con un ser, a quien no veo y no oigo? Al fin y al cabo, ¿no será al escondite? Basta con entendernos, aunque a duras penas. Incluso nos tuteamos».

— ¿Por qué conoces nuestro idioma? —preguntó Wood.

«Lo hemos aprendido» —escribió la máquina.

¿Lo han aprendido?.. Entonces, puede ser que...

Wood puso el teclado en las mayúsculas y escribió en el lugar libre la primera letra que le vino a la mente, la R.

— Vamos a poner por turno a la derecha y la izquierda de esta letra otras letras cualesquiera —explicó él—. Pero de tal manera que no salga una palabra completa. A quien le sale, recibe un punto de multa. Y así hasta cobrar cinco puntos. Quien los cobra primero, pierde.

El rodillo de la máquina de escribir empezó a girar haciendo avanzar la hoja, y en el lugar en blanco apareció la pregunta del habitante de otro planeta:

«¿Cómo se llama este juego?»

— Lo llamamos generalmente juego al «baldá» —comunicó algo indeciso Wood.

En lugar de puntos de multa, al que pierde se le apunta la letra «b», después la «a» y así sucesivamente hasta que uno de los jugadores reúne toda la palabra «baldá». ¿Pero, puede ser que no comprendas su significado?

«Por qué no, —fue la respuesta— lo comprendo todo. «Baldá» significa «tonto chiflado».

— Ho,—se rió Wood,—¡Muy bien!... Si es así, empecemos.

El rodillo giró en sentido contrario, una de las palancas golpeó el papel y cerca de la letra «R» escrita por Wood, a la derecha, apareció la letra «E».

— Así —comentó Wood—, no muy complicado, pero bastante aceptable para empezar.

Pensando un poco, escribió a la izquierda una R más.

— Así será más ingenioso — Wood tenía en cuenta la palabra «correo» que terminaba en su contrincante—. ¿No está malo el problema que te he dado?

En vez de responder, la máquina añadió enseguida, a la derecha de las letras ya existentes, la letra «T». Wood clavó los ojos confusamente en la combinación aparecida:

— ¡Mira, hombre!

Le vinieron a la mente solamente dos palabras que comprendían esta combinación: «carretera» y «birrete». Pero ambas terminaban en él mismo. Recordó también de golpe una palabra más que servía: «carretada», pero tampoco le salvaba.

— ¡Qué bien! —suspiró Wood aceptando la derrota—. Bueno, vamos a recordar que tengo «b». Ahora empiezas tú.

La máquina hizo correr la hoja y en el lugar libre escribió una W...

Esta vez Wood perdió aún más rápidamente.

En general, pronto todo estaba acabado con el tanteo de 0:5.

— ¿Una revancha? —preguntó inseguramente Wood.

— Estoy aburrido de este juego —comunicó el habitante de otro planeta—. Inventa algo nuevo.

— Bien —asintió Wood, y de repente comprendió con lástima tardía que hubiera podido no perder en la primera ronda del juego al «baldá». Le vino a la mente una palabra conveniente más: «carretón». No tenía que haberme rendido, sino poner a la derecha de la combinación «RRET» la letra «O», y era poco probable que su contrincante se salvara de tal situación. La verdad es que el resultado final no se cambiaría mucho, pero por lo menos no quedaría en cero. Sería marcado, como suelen decir los comentaristas deportivos, el gol de prestigio...

— Mira —propuso Wood—, vamos a componer palabras. De las letras que integran alguna palabra. El que invente más palabras durante, digamos, quince minutos...

«Comprendido» —comunicó el habitante de otro planeta—. «Espero la palabra».

Wood puso en la máquina una hoja en blanco y escribió con doble espacio la primera letra que le vino a la mente: «desconsideración». Luego puso ante sí sobre la mesita una hoja de papel más, cogió, alargando la mano, el bolígrafo de la mesa grande que esta vez no hizo tentativas de escapar, y escribió en el ángulo superior la misma palabra.

— Bueno, el plazo es de quince minutos. ¡A empezar!

La máquina comenzó a traquetear al mismo instante. Apenas Wood tuvo tiempo para componer tres palabras, mientras que en la hoja del habitante de otro planeta creció una larga columna. Y la máquina seguía trabajando en ritmo verti-

ginoso de una buena computadora... Exactamente dentro de 15 minutos el golpeo cesó. Para ese momento Wood logró inventar 63 palabras. Su contrincante, ¡155! Wood pasó revista a la primera columna: consideración, senso, codo, condensar, sosa, dorso, dios, nodo, cono, don, disco, radio, ración, conde, seno, coseno... No había nada que añadir, los habitantes de otro planeta, por lo visto, habían aprendido bien la civilización terrestre; las palabras hablaban de que conocían tanto la construcción del cuerpo humano como la física, la química, la historia de la humanidad, y muchas otras cosas.

Wood levantó pintorescamente las manos:

— ¡Me rindo! ¿Qué vamos a hacer?

«Seguir jugando» —escribió la máquina.

«¿A qué —pensó Wood. En él ya despertó el frenesí deportivo, no quería perder más—. Tengo que mantener en alto el honor de la civilización terrestre. Hay que inventar tal juego que tengamos iguales nuestras oportunidades...»

Wood comenzó a recordar febrilmente todos los juegos conocidos. ¿Dominó? Demasiado aburrido y largo, sobre todo entre dos. Además aquí no tenía dominó. ¿Tenis de mesa? Esta idea le pareció a Wood tan absurda que se echó a reír. ¿cómo se puede jugar al tenis de mesa con una persona invisible? ¿Tal vez, al billar? ¡Claro está que al billar! ¿Cómo no ha pensado en esto enseguida? A Wood le gustaba ese juego y se consideraba un jugador al billar excelente. Pocas personas entre sus conocidos podían resistirle con éxito. Entonces, al construir la casa de campo, él instaló dentro un magnífico cuarto de billar.

— Pasemos al cuarto vecino —propuso Wood en voz alta poniéndose en pie, como si temiera que el habitante de otro planeta no le oyera.

Abrió de par en par la puerta que daba al cuar-

to de billar, luego, dándose una palmada en la frente, regresó atrás, cogió la máquina de escribir, la trasladó y puso en una mesa cerca del billar.

«¡Ahora a empezar!» —escribió impacientemente la máquina.

Wood tomó un taco.

—El juego consiste —comenzó la explicación— en meter las bolas en estos agujeros llamados troneras. Jugaremos a la pirámide rusa. Las bolas llevan pintados los números de uno a quince. Gana quien primero acumule 71 puntos. El golpe se acerta sólo con esta bola rayada llamada mingo. Y se advierte de antemano. Digamos así... —Wood miró el campo de paño verde, sobre el cual se agolparon las bolas—, la doce con la tres, en la esquina derecha...

Se inclinó sobre la mesa y, casi sin apuntar, dio un golpe. La doce, inclusive sin rozar los bordes de la tronera, se deslizó suavemente en la red.

«¡Comprendido!» —escribió la máquina—. Empecemos inmediatamente».

—Qué impaciencia —pensó Wood alineando las bolas con un cartabón de madera.

Puso el mingo sobre el punto inicial y lo impulsó con prudencia de tal manera, que la bola, al chocar contra el borde de atrás, se sumó quietamente a las demás sin perturbar la construcción inicial.

—Ahora te toca a tí —anunció Wood y sólo en ese momento pensó si el habitante de otro planeta podría en general jugar a este juego. ¿Cómo sujetará el taco? Es que Wood no se imaginaba en absoluto cómo luce. Por lo demás, hasta la palabra «luce» por sí misma no servía evidentemente...

Sin embargo, las dudas de Wood se disiparon en el instante: el mingo giró bruscamente por sí

mismo y desbarató el triángulo constituido por bolas. Estas rodaron rápidamente en todas las direcciones.

«¡Bárbaro! —pensó Wood observando el mingo—. ¡Tengo una buena oportunidad!

— ¡Psst! —silbó inmediatamente.

El mingo, como si no tuviera ganas, rodó hacia el ángulo de la mesa y, entrando justamente en la tronera, se paró a un milímetro del borde. Era absolutamente imposible hacer un golpe eficiente desde tal posición.

— ¡Es un muchacho listo! —se admiró Wood—. ¡Captó tan rápidamente la esencia del juego!

Pensando un segundo, golpeó sin advertencia tratando simplemente de poner el mingo en una posición incómoda. Siguiendo con la mirada la bola rayada sonrió con satisfacción: ahora que pruebe él.

Empezó a traquetear la máquina. Wood miró la hoja y se quedó perplejo: «con la bola tres a la trece, con la trece, de ambos bordes, a la siete, con la siete la quince, y ésta, de la tercera, va al rincón derecho».

¡Inverosímil! De un salto Wood se acercó a la mesa. Justamente en ese momento el mingo, al desprenderse del lugar, chocó contra el borde largo y golpeó con fuerza contra la bola con la cifra «tres». La tres chocó con la trece, la cual, a su vez, al reflejarse de ambos bordes —el largo y el corto— empujó a la siete. Esta tocó suavemente la bola con el número «quince» haciéndola rodar hacia la tronera del rincón, pero, evidentemente, no iba a dar en ella. Wood estuvo a punto de sonreír con satisfacción, pero en el último momento el trayecto de la quince fue cruzado por la tres que seguía rodando después del impacto. Las bolas chocaron suavemente, y la quince cayó silenciosamente en la tronera...

Sorprendido, Wood se quedó boquiabierto: durante toda la práctica rica de billar jamás pudo ver algo semejante. Pero el habitante de otro planeta anunciaba, una tras otra, combinaciones cada vez más intrincadas que parecían absolutamente irrealizables. No obstante, las bolas caían mansamente en una u otra tronera. Wood apenas tenía tiempo para sacarlas. Cuando la cantidad de puntos acumulados por el habitante de otro planeta sobrepasó de 50, Wood puso aparte el taco. Y tuvo razón: dentro de tres tacadas todo se acabó.

«¿Jugamos otra vez?» —escribió rápidamente la máquina.

Parecía que el juego de billar le gustó al habitante de otro planeta.

—Creo que no vale la pena —alargó Wood incapaz de disimular su decepción: es que puso en el billar no pocas esperanzas—. Mejor que juguemos a algún otro juego.

Después de tres derrotas demoledoras Wood comprendió que era superior a sus fuerzas rivalizar con el habitante de otro planeta en tales juegos, donde todo resuelve la reserva de conocimientos, o la habilidad, o un cálculo exacto. Por lo visto, el cerebro de ese ser invisible no tenía nada que envidiar a una computadora de alta clase, y era capaz de resolver problemas bastante complicados. Por lo visto, la probabilidad de éxito podía aparecer sólo en el caso de depender el resultado del juego de unas circunstancias puramente casuales. La verdad es que vencer en tal juego no era gran cosa, pero por lo menos el propio juego tendría iguales posibilidades...

— Está bien, trataremos de jugar a los dados— decidió Wood y tomó del estante un cubilete con dos pequeños dados tallados de marfil, regalo de un amigo indio—. Vamos a echar por turno estos cubitos. Gana quien acumule pri-

mero, digamos, cincuenta puntos. Pero, una vez echados los dados, no se puede pararlos ni tocar —añadió con precaución recordando las posibilidades maravillosas de su compañero.

—Empecemos... —Wood apartó las bolas que se quedaron sobre el billar y echó ambos dados sobre el paño verde.

Dando unas vueltas, éstos se pararon. En sus caras superiores habían tres y cuatro cavidades pintadas de negro.

—Siete puntos —resumió Wood—. Ahora te toca a tí.

Los dados enseguida saltaron en el aire y, rodando por toda la superficie de la mesa, se pararon. Echando una ojeada, Wood vio los dos seis, 12 puntos. ¿Quizás, una casualidad? Tomó de nuevo los dados y echó por segunda vez, pero con menos seguridad. Le tocaron seis y cinco.

«No está mal —pensó Wood cobrando aliento—. Vamos a ver lo que nos espera...»

Los dados de nuevo saltaron por sí mismos, rodaron y se quedaron inmóviles. Otra vez eran los dos seis.

Wood terminaba la partida ya sin ningún interés, puesto que el habitante de otro planeta cada vez sacaba doce puntos. Acumulando 48 puntos después de cuatro pruebas, sacó en la última jugada los dos uno, terminando de esta manera exactamente con la suma convenida.

También en este juego Wood perdió. No tenía razón alguna para sospechar a su compañero invisible de deshonestidad. Por lo visto, sabía calcular la fuerza del lanzamiento de tal manera que los dados, haciendo un número determinado de revoluciones, se paraban con las caras necesarias hacia arriba.

«Tampoco ayudó la casualidad —pensó Wood con desencanto—. Por lo demás, ¿qué tipo de casualidad es si puede calcularse con exactitud de

antemano? Es para mí una casualidad, mas para él... Se necesita una casualidad absoluta, no pronosticable».

De golpe Wood se acordó de uno de los principios fundamentales de la física cuántica: el principio de la indeterminación. Tuvo que conversar muchas veces con los físicos que trabajaban en esta rama, escribir artículos de divulgación sobre los fenómenos que transcurren en el micromundo, y se orientaba bastante bien en todo esto.

¡El principio de la indeterminación! El sanctasanctorum de la física de los microprocesos. El principio, del cual se desprende que el comportamiento de una micropartícula aislada, por ejemplo, de un electrón, no puede calcularse de antemano: obedece sólo a las leyes de la teoría de la probabilidad. Pero éstas son aplicables solamente a un gran número de acontecimientos.

Wood se dirigió al televisor que estaba en un rincón de la sala de billar, y lo conectó para el bloque de juego.

«Como una de las partes integrantes principales de este bloque es el generador de magnitudes aleatorias, en cuyo funcionamiento los procesos electrónicos desempeñan un papel importante —razonó él—, los datos elaborados por este bloque son completamente no pronosticables».

— Hay que nombrar seis números cualesquiera de uno a cincuenta —comenzó Wood su explicación siguiente—. Después se aprieta el botón y en la pantalla aparecen seis números escogidos de una manera casual por un dispositivo especial incorporado al televisor. El que adivine más, digamos, de cinco pruebas, será el vencedor. Empiezo yo... Digamos así: 3, 8, 17, 21, 46, 48. Ahora veamos cuan acertada ha sido mi elección.

Wood apretó el botón en el panel de mando remoto, y en la pantalla aparecieron momentánea-

mente las cifras siguientes de gran tamaño: 2, 17, 29, 35, 36, 41.

— Una coincidencia —comentó Wood—. Un punto. Ahora tú...

«6, 23, 34, 41, 43, 49»—escribió la máquina.

Wood apretó de nuevo el botón del bloque de juego y miró con interés la pantalla: 5, 23, 34, 42, 43, 50.

«Bien, esta vez sólo tres «impactos», parece que el asunto va en bonanza» —notó Wood para sí.

En la segunda serie el habitante de otro planeta adivinó dos veces. En la tercera, cuatro veces. La cuarta prueba resultó al cien por cien: coincidieron todos los seis números. Por fin en la quinta serie el resultado de nuevo fue más modesto: sólo dos números adivinados. De esta manera, el huésped cósmico adivinó en total 17 veces. Durante el mismo tiempo Wood consiguió adivinar correctamente sólo tres veces los números que aparecían en la pantalla. De nuevo perdió y de nuevo con un tanteo grande. Pero esta vez tampoco el resultado del habitante de otro planeta fue absoluto.

«Está bien —pensó con satisfacción Wood—, esta vez mi derrota es completamente honoraria. Y la victoria de mi contrincante no es tan incondicional. Aunque él, por lo visto, dispone de la posibilidad de pronosticar la marcha de los microprocesos mucho más exactamente que lo han aprendido a hacer nuestros físicos terrestres... ¿Y si yo pruebo así? ...»

El habitante de otro planeta competía bastante exitosamente con el bloque de magnitudes aleatorias. Probablemente, no perdería a una computadora cualesquiera más perfecta. ¿Y a un hombre? ¿En qué competía con él Wood? En el volumen de la memoria, la rapidez de sacar de ella los datos necesarios, la precisión del cálculo...

En la rapidez... la precisión... ¿Y en el intelecto?

Wood se acercó decididamente al armario de libros, sacó un tablero de ajedrez y lo puso sobre la mesita junto a la máquina. A pesar de que estaba ocupado constantemente del periodismo o, quizás, precisamente gracias a éste, Wood era una persona de vastos conocimientos. Poseyendo un carácter matemático de la mente, jugaba al ajedrez al nivel de un buen maestro, aunque no participaba en las competencias.

— Vamos a ver, vamos a ver – murmuraba él mientras que ponía las piezas...

Tardó unos diez minutos en explicar las reglas. Luego, para comprobar cómo el habitante de otro planeta las había aprendido, Wood le dio unos problemas de ajedrez, de dos y tres movimientos. El huésped cósmico los resolvió momentáneamente. Entonces Wood le propuso dos estudios bastante complicados. Fueron resueltos durante unos segundos... Ahora se podía pasar al juego.

Wood puso las piezas en las posiciones iniciales.

— Empiezas tú —dijo él—. Con las blancas.

Por costumbre miró espectativamente a la máquina, pero en este momento el peón blanco por sí mismo pasó de e2 a e4.

«Pues claro —se dio cuenta Wood—, si él sabe escribir en la máquina y puede mover las bolas de billar, ¿por qué no podría también dirigir las piezas de ajedrez?»

En el tablero se desplegó una batalla encarnada. Al principio, el visitante cósmico respondía bastante rápidamente, y aunque no estaba enterado de los detalles de la teoría del debut, jugaba sin errores. Pero a medida de complicarse la situación en el tablero, se tenía que esperar las respuestas del habitante de otro planeta cada vez

más y más, y su juego se ponía cada vez más vulnerable. Por lo visto, ya no tenía tiempo para calcular lo suficientemente lejos todas las variantes posibles. Entonces Wood agudizó bruscamente el juego. La posición en el tablero se complicó y enredó, y el cálculo algún tanto detallado de las variantes se hizo prácticamente una cosa no realizable. En tal situación podía salvar sólo la intuición ajedrecística.

— Bien, vamos a ver —murmuraba Wood entregando un caballo.

Él mismo no podía decir en ese momento a qué consecuencias podría llevar su movimiento. Pero la intuición rica de ajedrecista le apuntaba que las blancas, independientemente de si aceptaba o no la entrega ofrecida, de todas maneras caerían en una situación complicada.

El habitante de otro planeta ganó el caballo, y dentro de tres movimientos Wood le puso ante una alternativa no muy agradable: o perder una torre, o devolver una pieza ligera a cambio de una posición perdida...

Esta vez el forastero tardó un tiempo bastante largo en dar señales de vida.

«Ah —concluyó con júbilo Wood—, también Usted tiene un punto vulnerable. No siempre tú saldrás victorioso...»

De repente, en vez del movimiento siguiente en el tablero, traqueteó la máquina de escribir.

«No puedo llevar a fin la partida —leyó Wood—. Han venido a recogerme...»

¡Fue el final!

Wood experimentó un sentimiento de frustración. La victoria estaba tan cerca, su primera y más importante victoria sobre el extraterrestre. La victoria que debía demostrar no tanto la superioridad del intelecto humano terrestre como, por lo menos, su nivel bastante alto que daba el derecho de contactos cósmicos. Y de pronto

esa victoria tan deseada se escapó de las manos...

Pero al mismo instante Wood se reprimió a sí mismo. ¿Acaso es tan importante si está puesto el punto final? Es más importante el hecho de que de todas maneras venció al extraterrestre, a pesar de todas sus capacidades de cálculo. ¿Es que sólo esto tiene importancia?

Wood se puso de pie. Sólo ahora se dio cuenta de pronto de lo que había pasado. Apoderado de la pasión de juego y del frenesí profesional de un reportero que tropezó con una sensación, no pensó en absoluto en ese lado del asunto, no separó esa sensación real de todas las demás, inventadas por él y que existían sólo sobre el papel...

Pensó además que, tal vez, lo más importante incluso no consistía en que la existencia de las civilizaciones extraterrestres se hizo un hecho irrefutable, ni que el hombre había crecido hasta tal nivel que abre la posibilidad de comunicación con seres razonables extraterrestres, incluso completamente no parecidos a los habitantes de la Tierra; lo principal consistía en el hecho de que un contacto con ellos era posible y realizable. Y Wood ahora sabía de qué manera...

El oficial de guardia entró en la sala de oficiales. En pos de él iba Chak que sonreía con aire de desafío y, al parecer, no se sentía culpable ni mucho menos.

—Jefe, lo he traído —informó el oficial.

Jefe miró a Chak severamente. Pero éste seguía sonriendo independientemente.

—Le escucho —dijo Jefe pasando la mirada al oficial.

Una vez terminada la información, las arrugas desaparecieron de la cara de Jefe, los ojos empezaron a brillar.

—¡Es grandioso! —exclamó Físico.
—¡Ahora sabemos la manera de actuar! —añadió Astrónomo.

—No tengamos prisa —dijo Jefe—. Hay que pensarlo todo, pesar y elaborar meticulosamente. De esto se ocuparán las expediciones siguientes. Pero yo pienso, ¡la llave se ha encontrado!..

Simultáneamente en la Tierra, en una pequeña casa perdida en el follaje espeso de árboles seculares, el periodista Tim Wood puso apresuradamente en la máquina de escribir una hoja en blanco y, dando golpes en el teclado, escribió el título de su nuevo artículo, el más importante de todos los que habían sido escritos por él en algún tiempo. Ese título lo integraban las palabras siguientes: «¡El contacto es el juego!»

«El juego es una necesidad vitalmente importante de todo ser vivo, y ante todo, racional —escribía él sin parar—. Y es de suponer que esta tesis es justa no sólo para los seres vivos que habitan la Tierra, sino para los moradores de cualquier otro mundo, independientemente de su forma. Es lo común que aproxima a los habitantes racionales en el Universo...»

De noche el artículo estaba hecho. Wood sacó la última hoja de la máquina y salió al zaguán. En el cielo negro de verano centelleaban las estrellas. Fijando la mirada en su profundidad sin fondo, Wood notó una llamarada corta de color azul. Tal vez, había despegado hacia su estrella la nave extraterrestre. Pero puede ser que a Wood sólo le pareció.

A pesar de la condicionalidad de la trama y la fábula del cuento «El travieso», aborda un problema totalmente real, enlazado con el programa de la búsqueda de vida racional en el Universo, a saber: la cuestión sobre la posibilidad del contacto con las civilizaciones cósmicas.

Si semejantes civilizaciones existen de verdad,

es extremadamente pequeña la posibilidad de encontrar tal sociedad de seres racionales que se parezca a la humanidad terrestre, haya pasado el camino análogo de desarrollo y disponga de iguales conocimientos científicos. Pero esto quiere decir que el cuadro científico del mundo construido por la humanidad y el cuadro científico creado por otra civilización difieren, lo más probable, uno de otro. Es que el cuadro científico del mundo es el «corte» final de la realidad objetiva infinitamente variable, cuyo carácter depende directamente de toda la prehistoria de la actividad práctica y cognoscitiva de la civilización dada.

Por eso el establecimiento del entendimiento mutuo con otras civilizaciones, si tales existen, representa una tarea insólitamente complicada.

El hombre y el Universo

La existencia del hombre y de la humanidad está enlazada directamente con las propiedades físicas de nuestro Universo. Si dichas propiedades fueran otras, no se realizaría una serie de condiciones físicas, de las cuales depende directamente la propia posibilidad de formación y evolución de las estructuras vivas.

Ante todo, la construcción de los organismos vivos está íntimamente vinculada con aquellas condiciones físicas concretas, en las cuales éstos directamente existen. En particular, muchas propiedades de los organismos terrestres se determinan por las condiciones físicas que existen en la Tierra. Así, el ojo humano es más sensible a los rayos verde-amarillos, dado que en la radiación solar, el máximo de energía recae en la zona verde-amarilla. La estructura del esqueleto y del aparato muscular del hombre y los animales, así como la composición química del

tejido óseo, está determinado por el valor de la fuerza de la gravedad, el cual depende, a su vez, de la masa de nuestro planeta. Recordemos qué alteraciones pueden surgir bien en el funcionamiento de los músculos, bien en el sistema de circulación de la sangre y la composición química del tejido óseo en los casos cuando el hombre se halla durante largo tiempo en estado de ingravidez en las condiciones del vuelo cósmico.

Un papel importante para los organismos terrestres desempeña el nivel de radiactividad natural cerca de la superficie de la Tierra, la presencia en la atmósfera de una capa de ozono que retiene la radiación ultravioleta del Sol, así como la existencia del campo magnético que crea una barrera intransitable para las partículas de alta energía que atraviesan el espacio cósmico. No menos importancia tiene también el ritmo determinado de las oscilaciones de la actividad solar.

Pero junto con ello existen enlaces y dependencias mutuos de un orden más alto, cosmológico. El análisis de la dependencia del hombre de los factores del orden cósmico condujo a los científicos a la formación del «principio antrópico» o «antropológico».

Uno de los primeros quien formuló este principio fue el cosmólogo soviético A. L. Zelmánov. El hombre observa y estudia en el mundo circundante los fenómenos de un tipo determinado porque los fenómenos de otro tipo transcurren sin testigos. Con otras palabras, existimos en nuestro Universo porque éste es tal como es.

D. Wiler, físico norteamericano de renombre, discípulo de A. Einstein, formuló la misma idea de una manera un poco diferente: el orden de las cosas que existe en el Universo podría no existir sin el hombre, pero, como el hombre está presente, el Universo es precisamente así...

A primera vista, tal confirmación parece un poco paradójica: ¿de qué manera las propiedades del Universo pueden depender del hombre, de la civilización terrestre? Sin embargo, realmente aquí sólo la forma es paradójica, y en el caso dado se trata de la correlación complicada y la dependencia mutua entre las propiedades del Universo y la vida o intelecto generados por la marcha del desarrollo de la materia. Como ya sabemos, todas las islas estelares, las galaxias, se dispersan de tal manera que las distancias mutuas entre ellas aumentan con el tiempo. Y aunque hasta las más próximas galaxias están separadas de nosotros por unas distancias enormes, el carácter de su movimiento tiene una importancia primordial para la existencia de la vida en la Tierra.

Es que el alejamiento de la fuente de radiación electromagnética genera el llamado efecto Doppler, o sea el desplazamiento de la radiación hacia la parte roja del espectro, hacia el lado de frecuencias más bajas y ondas más largas. Y cuanto más baja es la frecuencia de radiación electromagnética, tanto menor es la energía transferida.

De esta manera, gracias al efecto Doppler, la radiación de las galaxias que se alejan mutuamente se desplaza hacia la parte menos intensa del espectro. Debido a esto, la «temperatura media» del Universo resulta relativamente baja, que admite la posibilidad de existencia de vida biológica.

¿Y si las galaxias se aproximasen? Entonces en vez del desplazamiento hacia el rojo sucedería hacia el violeta, o sea el desplazamiento de la radiación hacia mayores frecuencias y las radiaciones duras, de ondas más cortas. Con esta condición, todo el cielo tendría un brillo tan deslumbrante como lo tiene el disco solar: sobre nosotros caería un torrente incinerante

de radiacion, cuya intensidad sería aproximadamente 200 mil veces mayor que la luz solar. La densidad de la radiación sería tan grande, que la vida en tal Universo no podría existir, es más, hasta los planetas no podrían existir: ¡simplemente se evaporarían!

Hasta en el caso en que el Universo simplemente no se ensanchase o el ritmo del ensanchamiento fuera menos considerable, la intensidad total del fondo de la radiación sería tan grande que en nuestro mundo no podría aparecer nada que recordase, aunque sea de manera lejana, la forma albuminosa de la vida.

Por consiguiente, no es nada casual que vivimos precisamente en el Universo expansivo y observamos precisamente el desplazamiento hacia el rojo en los espectros de las galaxias.

Asimismo estrechamente y de un modo bastante crítico las propiedades de la vida en la Tierra están enlazadas también con muchos otros parámetros del mundo astronómico. En particular, con la marcha concreta de la formación de elementos pesados en el proceso de evolución del Universo. Se revela una correlación grandiosa entre las condiciones iniciales de la evolución del Universo y las premisas físicas concretas de la aparición de la vida. Se hace claro que de medio ambiente de la vida sirve no sólo la superficie de nuestro planeta, sino el mundo circundante del sistema solar, y la Galaxia con sus propiedades específicas, y todo nuestro Universo.

La vida terrestre parece el resultado normal del desarrollo anterior de la materia no como un fenómeno local, sino como el resumen global de una multitud de causas y efectos que trabajan en escala universal...

La civilización es un sistema complicado altamente organizado que ha alcanzado un nivel

de desarrollo tan alto que adquiere la capacidad de conocer y transformar lo que nos rodea. En esa etapa un sistema altamente organizado comienza a crear el cuadro del mundo. Un cuadro que corresponde precisamente al sistema altamente organizado dado, sus propiedades, estructura, condiciones y leyes de existencia y desarrollo.

El mundo que nos rodea es infinitamente variado y por eso inagotable. Contiene un número infinito de enlaces, fenómenos o interacciones. El cuadro científico del mundo, creado por la humanidad en el proceso de su actividad práctica, refleja no todo el conjunto de esos fenómenos, enlaces e interacciones, sino unas partes determinadas del mundo infinitamente variado, la correlación y la dependencia mutua determinadas.

Esta correlación tiene una importancia primordial no sólo para la propia existencia de la humanidad, sino también para su actividad práctica, para la formación de nuestra concepción del mundo. Pero la concepción del mundo y la actividad práctica están ligadas íntimamente entre sí.

La dispersión de las galaxias es no sólo el debilitamiento de la densidad de la radiación, que hace posible la existencia de la vida biológica. El Universo expansivo es un Universo variable: su pasado no es idéntico al presente, y el presente, al futuro. Si se vuelve mentalmente hacia atrás el cuadro de la dispersión de las galaxias, llegaremos a la conclusión de que alrededor de 18 mil millones de años atrás no había estrellas, ni galaxias, ni planetas, ni nebulosas. Existía solamente un enjambre compacto de plasma caliente superdenso. Luego comenzó el ensanchamiento por explosión de ese enjambre, empezaron a surgir las heterogeneidades del

medio; su evolución siguiente condujo a la formación del mundo multifacético de los objetos cósmicos que constituyen la «población» del Universo moderno.

Pero varía no sólo el Universo. Muchos objetos cósmicos también se hallan en estados no estacionarios. Durante unos lapsos de tiempo relativamente cortos según las escalas astronómicas ellos experimentan unas transformaciones cualitativas profundas, unos saltos cualitativos, dentro de esos objetos se realizan las transformaciones de la materia, sus transiciones de un estado a otro, que van acompañadas del desprendimiento de cantidades colosales de energía y hasta de explosiones. Entre tales objetos no estacionarios pueden citarse, por ejemplo, los quasares y los núcleos de ciertas galaxias.

De esta manera, vivimos en un Universo no estacionario, en el cual a diferentes niveles de existencia de la materia se efectúan procesos físicos irreversibles. El tener consciencia de este hecho tiene una importancia considerable para el hombre y la humanidad. La humanidad se desarrolla. Se desarrollan también nuestra ciencia, técnica, tecnología, energética. Comenzamos a asimilar el cosmos, atraer los fenómenos cósmicos a la esfera de nuestra actividad práctica. El cosmos se convierte en el medio directo de nuestro habitat.

Pero realizando los hechos de escala global y cósmica, podemos provocar cambios irreversibles desfavorables para la civilización terrestre, las generaciones moderna y futuras, no sólo en el medio terrestre, sino también en el cósmico. En relación con esto debemos prever las consecuencias de nuestras acciones tanto próximas como lejanas.

Ya en el futuro visible nos preparamos para llevar al cosmos ciertas ramas de la producción

o instalaciones energéticas. Esto se efectuará obligatoriamente. Sin embargo, hay que tener presente que, por lo visto, para cualquier nivel del desarrollo científico-técnico y para cualquier envergadura de aquella zona del espacio cósmico, la cual el hombre atraerá a la esfera de su actividad práctica, serán vigentes ciertas restricciones. Particularmente, las restricciones de carácter energético encaminadas para mantener en ciertos límites unos u otros parámetros físicos del medio de nuestro habitat.

Desde luego, el futuro de la humanidad depende mucho de la capacidad de los pueblos de la Tierra de resolver exitosamente los problemas vitales de su coexistencia, de prevenir el desencadenamiento de una guerra termonuclear suicida.

Pero adquiere también un valor no menos importante el estudio lo más profundo posible de la correlación y dependencia mutua de lo terrestre y lo cósmico, las leyes de nuestra existencia cósmica, las cuales, a su vez, están ligadas estrechamente con las propiedades fundamentales del Universo.

El hecho de que vivimos en un Universo expansivo no estacionario, en el cual transcurren procesos físicos irreversibles, hace especialmente necesario tal pronóstico científico de los caminos siguientes del desarrollo de la civilización terrestre que tomara en consideración también las leyes cósmicas.

CAPITULO IV

¿Qué sucedería si. . .?

Inevitabilidad de un mundo cada vez más extraño

En el límite de los años 50 y 60 apareció un libro que inmediatamente atrajo la atención. Fue el libro «Inevitabilidad del mundo extraño» escrito por D. Danin, conocido escritor soviético.

¿De qué mundo se habla en él y por qué ese mundo es extraño e inevitable?

Se trataba de aquella revolución en las nociones físicas que trajo consigo el siglo XX, de aquellas ideas de la física moderna que contradecían abiertamente a las opiniones usuales y por eso parecían a muchos absurdas y hasta locas, pero, a pesar de todo, se confirmaban perfectamente mediante el experimento.

La vida cotidiana del hombre transcurre en el mundo de la física clásica, y no es de extrañar que numerosas tesis de la física y la astrofísica modernas contradicen a nuestras nociones usuales. ¿Acaso es fácil suponer, digamos, que la masa de un cuerpo depende de su velocidad, y por eso la masa de un protón o neutrón cualesquiera que vuela con una velocidad próxima a la de la luz puede, en principio, superar la masa de toda nuestra Galaxia? ¿O aceptar el hecho de que debido a la colisión de sólo dos partículas pueden formarse, según la opinión de ciertos físicos, centenares de miles de millones de estrellas?

¿O imaginarse una micropartícula que hace imposible, por ningunos medios, la medición simultánea exacta de la velocidad y la posición en el espacio, que representa algo parecido a una nube extendida? Tampoco es fácil imaginarse con evidencia las densidades monstruosas de la materia de ciertos objetos cósmicos.

Pero es sólo una lista lejos de estar completa de las extrañezas del mundo de la física y la astrofísica modernas. Lo más sorprendente, quizás, consiste en el hecho de que ese mundo existe no lejos de nosotros, no es una casa en otra calle, en la cual podemos entrar un día, pero podemos no entrar jamás; ese mundo se halla dentro de nosotros y alrededor de nosotros, precisamente nosotros vivimos en él. Vivimos sin tropezar con numerosas propiedades de éste sin advertirlas... Pero sólo hasta cierto tiempo.

Si se lanza una bote de trilita en un horno, ha de arder tranquilamente dando calor. Pero la misma trilita puede estallar y hacer pedazos el horno. En este caso funcionarán las propiedades que la trilita posee también cuando simplemente arde, pero que se manifiestan sólo en unas condiciones determinadas...

Acabamos de mencionar que, según la teoría de la relatividad, la masa de cualquier cuerpo aumenta junto con el crecimiento de la velocidad. Por consiguiente, cuando viajamos en un automóvil corriente o volamos en un avión, la masa de nuestro cuerpo también crece. Pero ese aumento es tan ínfimo que no sólo no desempeña ningún papel práctico, sino que incluso no puede medirse con los medios modernos. Pero, este efecto existe bien de verdad, y éste, así como algunos otros efectos descubiertos por la teoría de la relatividad, tiene que tomarse en cuenta durante el cálculo y el diseño de las instalaciones de la física nuclear y atómica. Como la ciencia jamás

se detendrá en el conocimiento del mundo, nosotros tropezaremos inevitablemente con efectos cada vez más finos e insólitos.

El comienzo de nuestro siglo fue conmemorado por una torrente de descubrimientos físicos remarcables que tocaron las nociones básicas del mundo circundante. Desde aquel entonces, nuestros conocimientos sobre la estructura de la materia aumentaron y se profundizaron incomparablemente. Fue descubierta una serie de fenómenos antes desconocidos, se descubrieron nuevas regularidades, fueron resueltos muchos problemas complicados. Pero a la vez surgieron nuevos problemas y nuevas dificultades. No se excluye que éstos conducirán a la nueva revisión esencial de las nociones más principales, básicas de la física moderna: nociones de la partícula, del campo, del espacio y el tiempo, etc.

Pueden variar también nuestras nociones usuales de la correlación de las formas macroscópica y microscópica de existencia de la materia. ¿Es realmente tan grande la diferencia entre el micro y macromundo?

Los experimentadores descubren nuevas partículas cada vez más pesadas, las llamadas resonancias, con unas masas que superan considerablemente la masa del nucleón. ¿Existe el límite para estas masas? ¿No podrán nacer objetos macroscópicos en unas zonas ultrapequeñas de espacio y tiempo?

Por supuesto, esto puede suceder sólo para unas energías de interacción muy altas. Tales energías todavía no se han alcanzado en los aceleradores. Aquí tampoco pueden ayudar las observaciones en el «laboratorio» tradicional de los físicos, los rayos cósmicos. Es que las partículas cósmicas, que viajan en nuestra zona del Universo, pierden inevitablemente una parte de su energía debido a la reacción con los fotones

de la radiación relicta; por eso la energía de esas partículas se «corta» automáticamente a cierto nivel sin poder superarlo nunca.

En todo caso, el estudio de los microfenómenos ya hoy día conduce a problemas del orden cósmico, mientras que la solución de los problemas cosmológicos tropieza cada vez más frecuentemente con los problemas básicos de la física de las partículas elementales.

Generalmente la astronomía es ahora, hasta en cierto grado más que la física de las partículas elementales, la esfera de los descubrimientos muy sorprendentes, los cuales requieren o podrán requerir una revisión más profunda de nuestras nociones de la naturaleza que rebasará todos los límites.

La astronomía y la física modernas nos ofrecen a cada momento las más inesperadas sorpresas, descubren fenómenos «raros», nos conducen a lo profundo de un «mundo cada vez más extraño».

Por eso a veces es útil tratar de ver ciertos fenómenos «corrientes» desde el punto de vista insólito, paradójico.

Esto permite, en una serie de casos, aclarar más uno u otro problema, comprender más a fondo la esencia de los procesos que acontecen.

Una de las posibilidades de la creación de semejantes situaciones paradójicas consiste en hacer la pregunta siguiente: «¿Qué sucedería si..?» Así, una pequeña serie de experimentos mentales: qué sucedería si...

Sobrecarga e imponderabilidad

A fin de cuentas, cualquier logro grande de la ciencia cambia de alguna manera la vida de cada uno de nosotros. Así fue con el descubrimiento de la electricidad y las ondas electromagnéticas, la invención de las aeronaves más

pesados que el aire, la creación de semiconductores... Ahora en la vida de la humanidad entran cohetes y naves cósmicas.

No cabe duda, que transcurrirán varios decenios más y la gente usará para las comunicaciones intercontinentales el transporte coheteril con igual tranquilidad e impasibilidad que hoy al subir a bordo de una nave de pasajeros a reacción. Serán corrientes también las comunicaciones cósmicas entre la Tierra y la Luna. La gente trabajará y vivirá en las estaciones cósmicas, nacerán las profesiones de soldadores, montadores cósmicos, etc.

Pero, quizás, por primera vez, gracias a los logros científico-técnicos en la asimilación del cosmos, el hombre se encontrará en unas condiciones nuevas de principio, donde se manifiestan de una manera diferente las leyes físicas corrientes. Tal vez algo semejante puede suceder sólo durante la asimilación de las profundidades del mar.

Por supuesto, las leyes básicas de la física y, en particular, de la mecánica, son iguales tanto en la Tierra como bajo el agua y en el cosmos. Pero se manifiestan de una manera diferente, en función de las condiciones. Esas condiciones en la Tierra y en el cosmos están lejos de ser iguales. En nuestro planeta se caracterizan por dos circunstancias principales. Primero, faltan los cambios ostensibles de la velocidad — aceleración del movimiento de los puntos de la superficie terrestre. Segundo, nuestro planeta atrae a todos los objetos y los hace ejercer presión sobre sus apoyos.

La falta de aceleraciones sensibles está enlazada con las particularidades del movimiento de la Tierra en el Universo. Participamos, junto con nuestro planeta, en sus dos movimientos principales: la rotación diaria alrededor de su propio

eje y la revolución anual alrededor del Sol. Y a pesar de que volamos a todo correr junto con la Tierra alrededor del Sol con la velocidad de 30 km/s, y junto con el sistema solar alrededor del centro de la Galaxia con una velocidad colosal de cerca de 230 km/s, no lo sentimos, dado que el organismo humano es completamente insensible a la velocidad del movimiento uniforme.

Por lo demás, de acuerdo con una de las tesis fundamentales de la mecánica, en general ningunos experimentos físicos y mediciones interiores son capaces de descubrir el movimiento uniforme y rectilíneo.

¿Pero si cierto sistema, por ejemplo, un cohete cósmico, se moviera con aceleración bajo la acción de los motores o experimentando la resistencia del medio? Durante tal movimiento surge la sobrecarga, es decir, el aumento de la presión sobre el apoyo. Por el contrario, si el movimiento se efectúa con motores desconectados en el vacío, desaparece la presión sobre el apoyo y surge el estado de ingravidez.

En las condiciones de la Tierra, la presión sobre el apoyo está enlazada con la acción de la fuerza de la gravedad. Ciertas personas consideran que la fuerza de presión sobre el apoyo es precisamente aquella fuerza, con la cual el cuerpo es atraído por la Tierra. Si fuera así, entonces, por ejemplo, en una nave cósmica que vuela a la Luna no habría ingravidez, dado que en cualquier punto de la órbita sobre la nave actuaría la fuerza de la gravedad terrestre. En general, es poco probable que se encuentre en el cosmos un lugar donde la resultante de las fuerzas gravitacionales sea igual a cero.

Huelga señalar que la presión sobre el apoyo puede provocarse no sólo por la acción de la fuerza de la gravedad, sino por otras causas,

por ejemplo, la aceleración. Para un cuerpo en estado de reposo, que descansa sobre la superficie terrestre, la fuerza de atracción de hecho coincide con la fuerza de presión sobre el apoyo. Pero es sólo un caso particular. Al hallarse en la Tierra, el hombre con cierta fuerza presiona sobre su superficie. A su vez, de acuerdo con la tercera ley de la mecánica, la superficie de la Tierra presiona sobre el hombre de abajo arriba con exactamente igual fuerza. Esta fuerza «antagonista» se llama reacción del apoyo. Las fuerzas efectiva y antagonista siempre están aplicadas a diferentes cuerpos. En particular, en el caso examinado la fuerza de presión sobre el apoyo está aplicada al apoyo, mientras que la reacción del apoyo, al propio cuerpo.

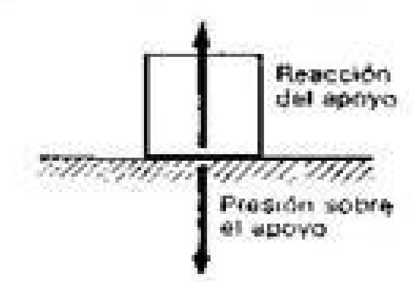


Fig. 17. Presión sobre el apoyo y reacción del apoyo

Entre tanto, la fuerza de atracción está aplicada no al apoyo, sino al cuerpo. De esta manera, la fuerza de presión sobre el apoyo y la fuerza de atracción son fuerzas completamente diferentes.

Si un cohete cósmico se mueve con aceleración, la presión del apoyo sobre el cuerpo aumenta tantas veces, cuantas veces la aceleración reactiva del cohete excede la aceleración de la gravedad igual a 9,81 m/s². Con otras palabras, en el trozo acelerado del movimiento aumenta la reacción del apoyo. Pero en este caso, de acuerdo con la tercera ley de la mecánica, igual número de veces crece la presión sobre el apoyo.

A la relación de la presión real sobre el apoyo a la presión sobre el apoyo en las condiciones de la Tierra se le dió el nombre de sobrecarga. Para una persona que se halla en la superficie

terrestre, la sobrecarga es igual, de esta manera, a la unidad. El organismo humano se adaptó a la acción de esta constante sobrecarga, y simplemente no le hacemos caso.

La esencia física del fenómeno de sobrecarga consiste en el hecho de que no todos los puntos

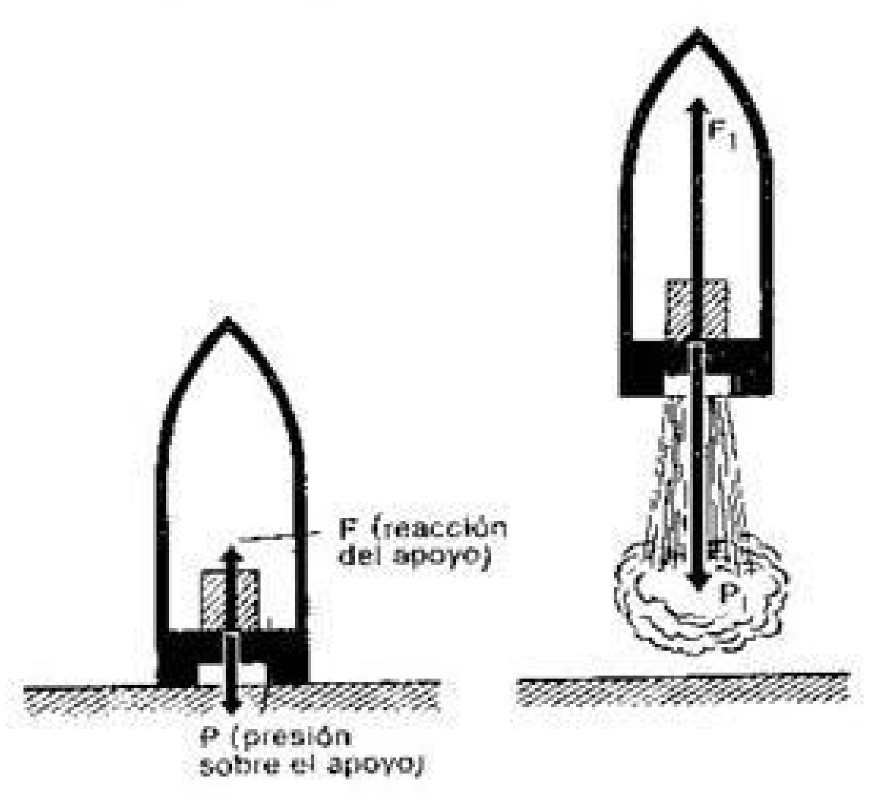


Fig. 18. Esencia física de la sobrecarga

del cuerpo obtienen la aceleración simultáneamente. La fuerza que actúa sobre el cuerpo, por ejemplo, la fuerza de tracción de un motor cohete, está aplicada en este caso a una parte relativamente pequeña de su superficie. Los demás puntos materiales del cuerpo obtienen la aceleración por intermedio de la deformación con cierto retardo. Con otras palabras, el cuerpo como si se aplastase, apretase contra el apoyo.

Las numerosas investigaciones experimentales, comenzadas ya por K. E. Tsiolkovski, mostraron que la acción fisiológica de la sobrecarga depende no sólo de su duración, sino de la posición del

cuerpo. Siendo vertical la posición del hombre, una parte considerable de la sangre se desplaza a la mitad inferior del cuerpo, lo que conduce a la alteración de la alimentación del encéfalo con sangre. Los órganos internos, como resultado del aumento de su peso, también se desplazan

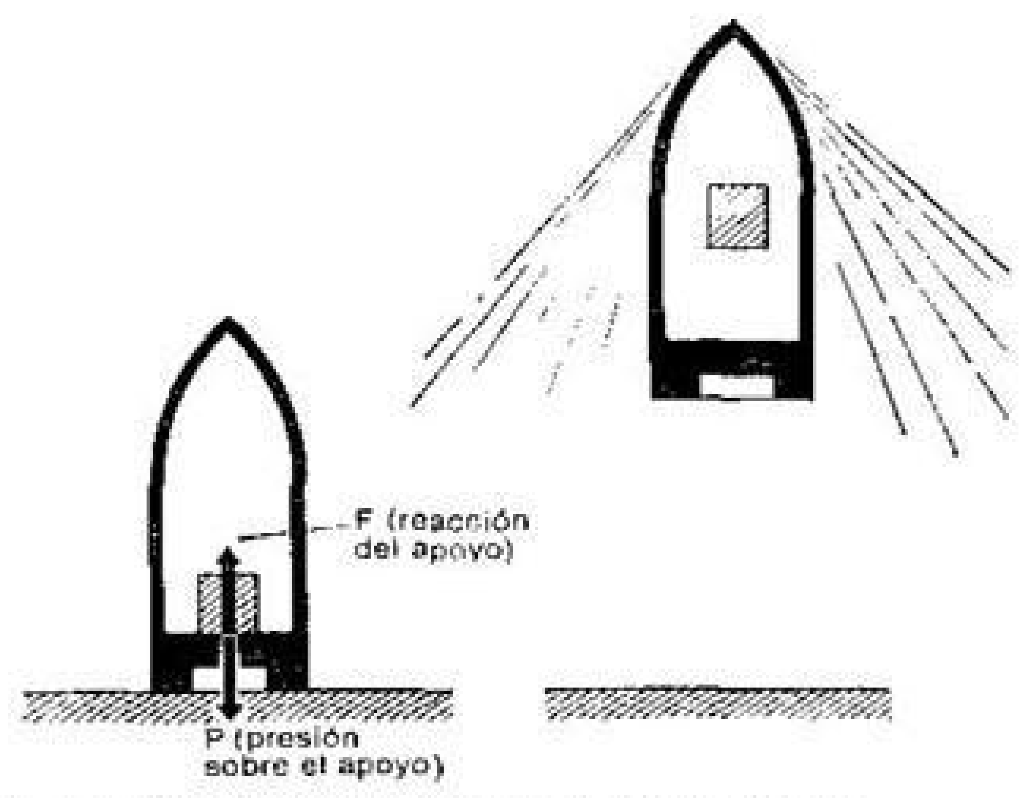


Fig. 19. Esencia física de la imponderabilidad

hacia abajo provocando una fuerte tensión de los ligamentos.

Para evitar las sobrecargas peligrosas para el organismo en los tramos de movimiento acelerado, es necesario acomodarse de tal manera que la acción de la sobrecarga esté dirigida de las espaldas al pecho. Tal posición permite soportar sobrecargas aproximadamente tres veces mayores.

A propósito, precisamente por esta razón es mejor descansar acostado que de pié...

Y si los habitantes de la Tierra se encuentran, aunque sea pocas veces, con la acción de la

sobrecarga, ellos prácticamente desconocen la ingravidez.

Este estado sorprendente llega una vez desconectados los motores del cohete, cuando tanto la presión sobre el apoyo como la reacción del mismo prácticamente desaparecen. Desaparecen también las nociones corrientes de arriba y abajo, y los objetos sueltos flotan libremente en el aire.

Con respecto a la ingravidez existe una serie de ideas falsas. Algunos piensan que dicho estado surge cuando la nave cósmica se encuentra en el vacío, «fuera de la esfera de la atracción terrestre». Otros consideran que la ingravidez en un satélite de la Tierra se produce gracias a la acción de las «fuerzas centrífugas» sobre éste.

Sin embargo, todo esto es completamente incorrecto.

¿En qué condiciones surge la ingravidez y la presión sobre el apoyo se convierte en cero? Este fenómeno está vinculado con el hecho de que durante el movimiento libre en el espacio cósmico, tanto el cohete como todos los objetos que se hallan dentro de éste, bajo la acción de las fuerzas gravitatorias se mueven con igual aceleración. El apoyo constantemente como si escapase debajo del cuerpo, y éste no tiene tiempo para presionar sobre el apoyo.

No obstante, tanto el movimiento en los tramos activos bajo la acción del motor cohete, como el movimiento bajo la acción de las fuerzas gravitatorias son movimientos acelerados. Ambos se efectúan bajo la acción de fuerzas. ¿Por qué entonces en un caso surge la sobrecarga, mientras que en el otro la ingravidez?

Esa paradoja es aparente. Ya se ha señalado más arriba que al surgir las sobrecargas, las aceleraciones se transmiten a los diferentes puntos a través de la deformación. Otra cosa

es cuando el cohete se mueve en el campo newtoniano. Dentro de los límites del tamaño del cohete éste es prácticamente homogéneo, lo que quiero decir que sobre todas las partículas del cohete actúan simultáneamente fuerzas iguales. Es que las fuerzas de la gravedad pertenecen a las llamadas *fuerzas de masa*, es decir, las fuerzas que están aplicadas simultáneamente a todos los puntos del sistema en cuestión.

Gracias a esto, todos los puntos del cohete obtienen simultáneamente iguales aceleraciones, y entre ellos desaparece toda interacción. Desaparece la reacción del apoyo y la presión sobre éste. Llega el estado de total ingravidez.

Ciertos procesos físicos también deben transcurrir en las condiciones de ingravidez de una manera no del todo corriente. Ya A. Einstein, mucho antes de los vuelos cósmicos, planteó un problema curioso: ¿arderá una vela en la cabina de una nave cósmica?

El gran científico respondió negativamente: consideraba que los gases calientes, debido a la ingravidez, no se irían de la zona de la llama. Con esto se cortaría el acceso de oxígeno a la mecha, y la llama se apagaría.

No obstante, los experimentadores modernos escrupulosos decidieron, de todas maneras, comprobar la afirmación de Einstein mediante un experimento. En uno de los laboratorios fue realizado un experimento bastante elemental que consistía en lo siguiente. Una vela ardiente puesta dentro de un tarro de vidrio cerrado se dejaba caer desde una altura de alrededor de 70 m. El objeto que caía se hallaba en el estado de ingravidez (si no se toma en consideración la resistencia del aire). No obstante, la vela no se apagaba, únicamente cambiaba la forma de la lengua de la llama: se hacía más esférica, mientras que la luz emitida se ponía menos brillante.

Por lo visto, todo se debe a la difusión, gracias a la cual el oxígeno, procedente del medio ambiente, de todas maneras penetra en la zona de la llama. Es que el proceso de difusión no depende de la acción de las fuerzas de gravitación.

Sin embargo, las condiciones de combustión durante la imponderabilidad difieren de las de la Tierra. Esta circunstancia la debieron considerar los constructores soviéticos que creaban el aparato de soldadura único para realizar la soldadura en las condiciones de ingravidez.

Como se sabe, este aparato fue ensayado en 1969 en la nave cósmica soviética «Soyuz-8» y funcionó exitosamente.

¿Es posible liquidar la noche?

Se sabe que el cambio del día y la noche es la consecuencia directa de la rotación diaria de la Tierra. Girando alrededor de su eje, nuestro planeta pone cada instante a los rayos solares sólo la mitad de su superficie...

En virtud de esto, la gente se ve obligada a pasar una parte de tiempo en oscuras gastando recursos energéticos colosales para el alumbrado nocturno de locales y calles.

¿No se podría en general librarse de la noche?

Ultimamente con este propósito se propuso toda una serie de proyectos originales. La mayoría de ellos raya en la ciencia-ficción, pero, en principio, dentro de cierto tiempo, pueden ser realizados. ¿Qué representan dichos proyectos?

Uno de ellos consiste en establecer en un satélite artificial de la Tierra un «Sol de hidrógeno», es decir, un reactor termonuclear gobernado, en el cual se efectuaría una reacción de fusión regulable, o sea la unión de los núcleos de los átomos de hidrógeno, semejante a la que sucede en las entrañas del verdadero Sol. Como durante tal

reacción se desarrolla una temperatura de millones de grados, el reactor termonuclear podría servir de hecho de fuente de luz y calor. En este caso se podría elegir la órbita del satélite con tal cálculo, que el Sol artificial aparezca principalmente sobre las zonas nocturnas de la superficie terrestre o bien se mueva la mayor parte del tiempo sobre las regiones polares. Entonces se podría liquidar la noche polar larga y fatigosa, a la vez «protegiendo contra el frío» las Tierras Articas y Antárticas.

Semejante proyecto todavía no es realizable técnicamente: no se ha resuelto hasta ahora el problema de la reacción termonuclear gobernada. Pero incluso después de que sea resuelto, ha de pasar, por lo visto, no poco tiempo antes de que los científicos aprendan a crear «soles de hidrógeno» artificiales que se puedan poner en los satélites de la Tierra.

Existe otro proyecto gracioso fundado en la utilización de los satélites artificiales de la Tierra. Pero en dichos satélites deben convertirse no los aparatos cósmicos «rellenados» con aparatos únicos, sino... una multitud de granos de polvo llevados al espacio circunterrestre por unos cohetes especiales. Como resultado de tal operación, alrededor de nuestro planeta debe formarse un enorme anillo de polvo, que hace recordar de cierta manera el célebre anillo de Saturno.

«Interceptando» aquellos rayos solares que ahora pasan al lado de la Tierra y se pierden en el espacio cósmico, y dispersándolos hacia todos lados, las partículas de polvo dirigirán una parte de luz y calor solar a la Tierra. Gracias a esto la noche desaparecerá, mientras que el clima de nuestro planeta se hará mucho más caluroso.

Ya ahora se podría calcular cuántas partículas de polvo se necesitan para crear el efecto deseado

y cuál debe ser el tamaño, la posición y la densidad del anillo de polvo. Pero son, por decirlo así, «detalles técnicos».

Posiblemente, existen también otras posibilidades para liquidar total o parcialmente la noche. Con el tiempo, quizas, surgirán tales proyectos que se puedan realizar con medios relativamente simples.

Pero el problema es si tales proyectos son realizables en un principio. Se trata de las dificultades ya no de carácter técnico, sino, al decirlo así, «natural».

La liquidación de la noche es un cambio cardinal del régimen térmico y luminoso corriente, el cambio del clima de nuestro planeta, en particular, el aumento considerable de la cantidad de energía solar que llega a la Tierra. Entre tanto, las formaciones naturales estables, semejantes a nuestro planeta, representan unos sistemas complicados autogobernados, en los cuales de un modo natural se mantiene el equilibrio dinámico estable. La intervención artificial puede provocar unos fenómenos indeseables de carácter catastrófico: la elevación del nivel de los mares y océanos, la alteración de la circulación del agua y la atmósfera, los cambios del clima desfavorables para la humanidad.

Además, es imposible no tomar en consideración que la mayoría aplastante de organismos vivos de la Tierra se adaptó durante varios millones de años al ritmo existente del cambio del día y la noche. Una alteración brusca inesperada de ese ritmo puede provocar también en el mundo de animales y plantas una serie de fenómenos indeseables y hasta catastróficos.

Pero esto no quiere decir que la gente nunca atacará la noche y los fríos de invierno, más a esa ofensiva le debe preceder una preparación científica minuciosa y multilateral.

La gente sin estrellas

Séneca, célebre filósofo de Roma antigua, dijo que si en la Tierra existiese un sólo lugar desde donde se pudiera observar las estrellas, a ese lugar afluiría la gente de todos lados, en un torrente interminable...

Con esto Séneca quizo subrayar la belleza singular, la grandeza e incomparabilidad del cuadro de un cielo estrellado. Un placer nocturno brillante de perlas en el fondo de una negrura sin fondo del cosmos es, de veras, un espectáculo impresionante. ¿Pero es sólo un espectáculo? ¿Tienen las observaciones sistemáticas del cielo estrellado algún valor práctico importante para la humanidad o la gente podría pasar tranquilamente sin ellas?

Para contestar a esta pregunta, imaginémonos por un minuto que el cielo terrestre está completamente cubierto por una nubosidad opaca, que hace imposible absolutamente la observación de las estrellas.

A primera vista, tal suposición puede parecer lo excesivamente inventada: es que de todas maneras vemos las estrellas. Sin embargo, ésta nos ayudará a apreciar mejor el valor de la astronomía para el desarrollo de la humanidad.

Además, la situación en cuestión no es tan fantástica. Es que realmente existen cuerpos cósmicos, cuyo cielo está nublado. Uno de ellos es nuestro vecino cósmico, el planeta Venus. La gente, probablemente, tendrá que vivir y trabajar con el tiempo en semejantes cuerpos celestes. Es muy posible que en el Universo existan también no pocas civilizaciones racionales que habitan planetas nublados...

Así pues, la Tierra sin estrellas...

El hombre se alegra del Sol... A la gente le es propio embellecerse en sonrisas al ver el cielo

azul radiante, los reflejos del sol que juegan sobre el agua, el follaje de primavera que brilla en los rayos solares.

Pero nada de esto existe. No hay cielo azul. No hay reflejos del sol. No hay estrellas, ni la Luna. Un cielo siempre nublado. La oscuridad eterna de los días opacos tristes. Las lluvias monótonas que no tienen fin...

Hay regiones en la Tierra donde son muy escasos los días de sol. Se dice que los habitantes de esas comarcas casi nunca sonríen. ¿Qué sucedería con la gente si no conocieran en absoluto el Sol?

El hombre es el producto del medio ambiente. Durante varios milenios su organismo se formaba bajo la influencia de precisamente tal situación, tales condiciones físicas que realmente existen en la Tierra. Esas condiciones han determinado las particularidades de la estructura del cuerpo humano, la sensibilidad de su vista a los determinados rayos de luz, la estructura del aparato del oído, etc. Pero es indudable también que éstas estamparon su huella determinada en la mentalidad de la gente.

Claro está, que aquí entramos en una zona bastante insegura de conjeturas y suposiciones. Sin embargo, me atrevo a pensar que si durante largos siglos la gente viera, de generación en generación, sobre sus cabezas un cielo gris uniforme, y un día nublado se pareciera a otro como dos gotas de agua, es muy posible que el potencial espiritual de la humanidad, si es posible expresarse así, sería diferente, la gente sería menos viable, menos optimista. Pero repito que es sólo una suposición más o menos posible.

Pero hay una cosa que no se pone en duda alguna: las nociones del mundo circundante en el alba del desarrollo de la humanidad serían aun más vagas y místicas que en la historia real de la civilización terrestre.

Recordemos, por ejemplo, de qué manera la gente conoció que vivía sobre un globo.

La prueba más evidente fue obtenida al observar los eclipses lunares. Es que durante este fenómeno celeste vemos sobre la Luna, así como en una pantalla gigantesca, el contorno de la sombra terrestre. Fue notado que ese contorno siempre, para todos los eclipses, representa una circunferencia. Pero sólo una esfera puede en cualquier posición dar una sombra «rodonda».

La verdad es que hay una prueba más: la desaparición paulatina de los objetos que se alejan trás el abultamiento de la Tierra. Pero tal fenómeno en la tierra firme no es muy evidente: siempre puede explicarse por las irregularidades del relieve. Quedan las observaciones en el mar. El cielo constantemente nublado no podría estorbar a la gente prestar atención a la desaparición de las naves detrás del horizonte. Pero para pasar de este hecho a la conclusión sobre el carácter esférico de la Tierra, hubo que comparar entre sí los resultados de semejantes observaciones hechas en diferentes puntos del planeta: hubo que convencerse de que la Tierra era «convexa en todas partes».

Para este propósito son necesarias las relaciones entre los continentes, los viajes por mar. Pero éstos serían muy dificultados al faltar las estrellas. ¿Cómo es posible hacerse al océano o a alta mar sin tener la posibilidad de determinar su posición, comprobar la corrección del rumbo? Es que desde tiempos muy remotos los navegantes terrestres recurrían para este fin a la ayuda de las estrellas.

Es verdad que se podría orientarse en cierto grado según la disposición de los crepúsculos matutinos y vespertinos. Como se sabe, hasta cuando el tiempo está nublado, el sector oriental del cielo por la mañana se despeja más temprano,

mientras que el sector occidental por la tarde obscurece más tarde que la demás bóveda celeste. Una serie de observaciones permitiría comprender todo esto.

Viviendo en la Tierra nublada, la gente no sabría que existen fenómenos enlazados con la salida y la puesta del Sol, pero, al observar de generación en generación los crepúsculos matutinos y vespertinos, el hombre notaría, al fin y al cabo, que éstos se someten a unas leyes determinadas. Se puede suponer que tarde o temprano se compondrían unas tablas especiales tomando en consideración el desplazamiento de los sectores de crepúsculos en función de la estación del año y hasta de la traslación del observador en la superficie de la Tierra. Pero, lamentablemente, la orientación por las observaciones del crepúsculo en el cielo nublado es demasiado imprecisa, ya que en virtud de la dispersión de la luz solar por las nubes es extremadamente difícil determinar a simple vista el punto de salida o de puesta (sobre todo, cuando la nubosidad es lo suficientemente densa y de varios pisos).

Por lo demás, es bien sabido que «la demanda crea la oferta». Y puede considerarse que deberían aparecer instrumentos especiales sensibles para medir el brillo del cielo y determinar el tramo más brillante del alba. Al existir tales instrumentos, la precisión de la orientación aumentaría considerablemente.

Es posible que el imán hubiera sido inventado mucho antes que realmente sucedió.

Los seres racionales que habitasen un planeta nublado, tendrían que resolver también problemas bastante complicados relacionados con el recuento del tiempo.

En el alba de la humanidad, cuando todavía no se había inventado el reloj, la gente determinaba el tiempo por el Sol, y de noche, por las

estrellas. Las observaciones astronómicas constituían la base para la composición de los calendarios.

En una Tierra nublada, semejantes observaciones serían imposibles. Pero, de todas maneras, sería, quizás, mucho más fácil hallar salida de este inconveniente que, digamos, resolver el problema de la orientación. Con ayuda de instrumentos, de los cuales ya se habló, la gente podría determinar el tiempo observando la traslación de la zona más brillante en el firmamento. De la misma manera podrían hacer también el calendario.

En dicho calendario, por el comienzo del invierno se consideraría el día más corto del año, y por el comienzo del verano, el día más largo.

Puede también suponerse que las dificultades en el cálculo del tiempo servirían de buen estímulo para inventar los instrumentos del tipo de reloj antes que esto sucedió en la historia real de la humanidad.

Existe una noción que como si juntara en sí los resultados básicos descubiertos por diferentes ciencias: «la concepción del mundo». La concepción del mundo no es física, ni química, ni astronomía, ni biología, ni matemáticas, sino algo mucho más generalizado y amplio. Pero, por otro lado, es difícil imaginarse cómo podría componerse la concepción del mundo sin, digamos, los conocimientos astronómicos. Pero precisamente en tal posición se encontrarían los habitantes de la Tierra nublada.

Por supuesto que la historia del desarrollo de las ciencias naturales testimonia que tampoco son suficientes las observaciones solas del cielo estrellado, del movimiento del Sol, la Luna y los planetas para tener ideas correctas sobre el mundo. Al principio, el movimiento visible de

los cuerpos celestes se tomaba por el verdadero, la ilusión, por la realidad. Así nació la idea de «la Tierra central» que ocupa la posición reinante en el mundo, y los astros celestes que giran alrededor de ella: el sistema de Aristóteles—Ptolomeo.

Pero, de una manera u otra, la civilización que habita un planeta nublado tiene que tropezar inevitablemente, en cierto período de su desarrollo, con el problema de la estructura del mundo.

Alcanzando cierto nivel de desarrollo, la civilización necesita ya no simplemente datos aislados sobre el mundo circundante, sino un «sistema de conocimientos». Mas éste no puede ser completo sin incluir las nociones de la estructuración del mundo, del lugar de la Tierra en el Universo.

Naturalmente que para los habitantes del mundo nublado no sería secreto la existencia de ciertos factores exteriores situados más allá de la cortina de nubes. Es que precisamente de allá llegarían a la Tierra la luz y el calor vivificantes. Por lo visto, en los primeros tiempos los habitantes del planeta nublado igualmente deificarían la «luz» como nuestros antecedentes en algún tiempo deificaban el Sol.

Pero la construcción del cuadro del mundo algún tanto científico sería muy dificultada. Es que el pensamiento humano, hasta creando las hipótesis más abstractas, siempre parte de lo real, lo observado. Entre tanto, la Tierra nublada daría mucho menos alimentos para los pensamientos que el cuadro del cielo estrellado de noche.

Copérnico llegó a la conclusión sobre el movimiento de la Tierra alrededor del Sol analizando los desplazamientos sinuosos de los planetas en el fondo de las estrellas. Giordano Bruno y M. V. Lomonósov desarrollaban la idea de la pluralidad de los mundos habitados haciendo un

paralelo entre los lejanos astros, las estrellas, y nuestro astro, el Sol.

Nada semejante podrían hacer los científicos del planeta nublado. Por lo visto, tratarían de construir diferentes hipótesis con respecto al cuadro del mundo, pero sus suposiciones, lo más probable, estarían mucho más lejos de la verdad que las conjeturas vagas de nuestros antepasados lejanos.

Indudablemente, que la imposibilidad de observar el Universo influiría negativamente también sobre el desarrollo de las ciencias en general, en el conocimiento de las leyes principales de la naturaleza.

Así, por ejemplo, Galileo descubrió su célebre «principio de inercia» en sumo grado gracias a las observaciones astronómicas. Puesto que la experiencia terrestre cotidiana está lejos de demostrar que un cuerpo, sobre el cual no actúan ningunas fuerzas, puede moverse uniforme y rectilíneamente. Aun más, tal suposición contradice al «sentido común terrestre»; no en vano fue recibida de uñas por los contemporáneos de Galileo. No obstante, el principio de la inercia es el fundamento de toda la mecánica.

A partir de las observaciones astronómicas nació también tal ley fundamental de la naturaleza como la ley de la gravitación. Claro está que las «manzanas» caerían también en el planeta nublado, pero no hay que olvidar que la conjetura genial de Newton fue precedida por un análisis minucioso del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra.

En todo caso, sería muy difícil descubrir el carácter universal de la gravitación con el cielo encapotado. Es que la fuerza de atracción mutua entre diferentes objetos terrestres es tan pequeña que sólo puede medirse con unos experimentos especiales bastante finos.

Los datos de la astronomía sirvieron de base para tal teoría revolucionaria como fue la teoría de la relatividad. Como se sabe, uno de los principales postulatos de esa teoría es la afirmación sobre la velocidad finita de propagación de los rayos luminosos. Pero la experiencia puramente terrestre nos dicta algo completamente diferente: cualquier acontecimiento sucede precisamente en aquel instante cuando lo vemos. No es difícil comprender por qué es así: las escalas terrestres son ínfimas en comparación con la distancia que recorre la luz en un segundo. Sólo la observación de los fenómenos que acontecen en las escalas cósmicas ayudaron a deshacer semejante ilusión.

El cosmos nos trajo también una multitud de otros descubrimientos admirables. Allí fueron revelados estados de la materia antes desconocidos en la Tierra y nuevas fuentes de energía (en particular, la nuclear).

Si se sigue atentamente el desarrollo de muchas ciencias, no solamente la física, sino la química, las matemáticas y hasta la biología, descubriremos que en muchos casos sus logros, bien directa o indirectamente, estaban enlazados con el estudio del Universo.

No en vano dijo A. Einstein que los instrumentos intelectuales, sin los cuales sería imposible el desarrollo moderno de la técnica, llegaron generalmente de la observación de las estrellas. En este sentido los científicos del planeta nublado estarían en una situación mucho peor. Además de que el Universo invisible desde la Tierra no los alimentaría de ideas fructíferas. En sus tentativas de comprender lo que sucede detrás de la cortina de nubes tendrían que librar cada día y cada hora una batalla mucho más aguda con el «sentido común» que nuestros antecedentes.

En general una civilización que habita un

planeta nublado haría recordar en mucho una persona ciega de nacimiento. En la historia real del estudio del Universo, el papel principal fue desempeñado durante largo tiempo por la investigación de la radiación luminosa de los cuerpos celestes. No en vano se llamaba la luz «mensajero de mundos lejanos». Pero para la gente del mundo nublado tal mensajero prácticamente no existiría...

A la vez se sabe que la gente, no sólo ciega, sino simultáneamente sorda de nacimiento, no sólo no pierde la capacidad de percibir el mundo circundante, sino hasta puede realizar exitosamente trabajo creador. Aunque los canales de información sonoro y luminoso están para ellos cerrados totalmente, ésta llega de todas maneras a través de otros canales.

Lo mismo sucedería también para la humanidad en general. Privados de la posibilidad de adquirir una información importante que contiene la luz cósmica, los científicos, tarde o temprano, se ocuparían de la investigación de otros mensajeros del Universo, en primer lugar de su radioemisión.

Por supuesto, la gente podría utilizar el canal de radio cósmico sólo alcanzando un nivel determinado en el desarrollo de la ciencia y la técnica. Sería necesario no sólo descubrir las ondas radioeléctricas en general, sino construir unos receptores de radioemisión excepcionalmente sensibles.

Una etapa de suma importancia en el desarrollo de la «civilización nublada» sería la «salida» más allá de la cortina de nubes. Es de esperar que para la solución de ese problema se dirigirían unos esfuerzos considerables.

A partir de ese momento, por lo visto, el desarrollo de la civilización de los habitantes del planeta nublado poco diferiría del desarrollo de

la civilización terrestre de la época de la aviación y la astronáutica.

De esta manera, a pesar de la imposibilidad de observar las estrellas, la humanidad, tarde o temprano, de todas maneras vencería todas las dificultades que ésta lleva consigo. Todavía la humanidad moderna dominará todas las dificultades que surgirían al asimilar los planetas nublados.

Si no existiera la Luna

Imaginémonos por un minuto que la Tierra no tuviera su satélite natural. ¿Qué cambiaría? Claro está, esto se reflejaría, ante todo, en la belleza de nuestros paisajes terrestres: desaparecerían las noches transparentes de Luna, reflejos plateados sobre el agua... Pero es la parte puramente exterior. No habría mareas de luna y, por consiguiente, cambiarían las condiciones de la navegación. La verdad es que quedarían las mareas solares, pero éstas, por la distancia enorme del Sol, son mucho más débiles que las lunares.

Por otro lado, la falta de las noches de luna facilitaría en sumo grado muchas observaciones astronómicas. Puede suponerse que en esas condiciones los científicos, en particular, descubrirían más cometas y planetas pequeños del sistema solar.

Es muy posible que la desaparición de la Luna influiría de cierta manera en la marcha de algunos procesos geofísicos.

Pero hay un lado más del asunto, quizás, no tan evidente. Vale hacer recordar que la esfericidad de la Tierra fue comprobada por la forma de la sombra terrestre sobre la Luna durante los eclipses lunares.

Que durante las observaciones telescópicas de la Luna, Galileo descubrió en su superficie

montes, haciendo la primera brecha real en las nociones seculares de un límite intransitable entre lo terrestre y lo celeste.

Que Newton, debido al estudio del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, formuló definitivamente la ley de la gravitación.

Que la observación del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra sirvió de uno de los impulsos que condujeron a la idea de la creación de satélites artificiales de nuestro planeta...

Vale también señalar que con la desaparición de la Luna cesarían los eclipses solares.

No obstante, el papel de la Luna no se limita ni mucho menos por su influencia sobre el desarrollo de la teoría científica. Ultimamente la Luna, como el cuerpo celeste más próximo a nosotros, se hace cada vez más frecuentemente un polígono peculiar, con ayuda del cual se acaban y se ajustan varias operaciones complicadas enlazadas con el estudio y la asimilación del cosmos.

Así, la Luna fue el primer «radioespejo», con ayuda del cual se acabaron los métodos de la radiolocalización astronómica. Los experimentos con la reflexión de las ondas radioeléctricas de la superficie lunar ayudaron a elaborar aparatos capaces de localizar el Sol y varios planetas del sistema solar.

Un papel muy importante desempeña la Luna también en el desarrollo de los vuelos cósmicos. Se trata no sólo de la posibilidad de crear en el futuro una estación cósmica en la superficie lunar, sino también del hecho de que en la zona de la Luna se acaban muchas operaciones del movimiento de los aparatos cósmicos, las cuales tienen una importancia bastante grande durante los vuelos a otros planetas.

Así pues, nuestro astro nocturno no es solamente un «adorno decorativo» ni mucho menos en el firmamento terrestre. Su ausencia podría

dificultar en cierto grado el desarrollo de la ciencia y la asimilación del espacio cósmico por el hombre.

Al faltar la Luna, se debilitará considerablemente el fenómeno llamado precesión. Como se sabe, nuestro planeta, gracias a la rotación diaria, tiene una forma un poco achatada: su radio polar es aproximadamente 21 km más corto que el ecuatorial. De esta manera, la materia de la Tierra, en virtud de la rotación, está redistribuida: una parte de ella como si estuviera desplazada de los polos al ecuador, formando un saliente ecuatorial peculiar. La acción de la atracción lunar sobre este saliente (así como las atracciones del Sol y los planetas) conduce a que el eje de rotación de nuestro planeta describe en el espacio durante aproximadamente 26 mil años un cono, precesa. El ángulo del vértice del cono constituye aproximadamente 47°. Por eso la estrella Polar actual no siempre era polar y no lo será para siempre. Por ejemplo, dentro de 13 milenios, el camino hacia el norte será indicado a nuestros descendientes por la estrella brillante Vega de la constelación de la Lira.

Aunque la masa de la Luna es pequeña en comparación con las masas de los planetas y el Sol, no debe olvidarse de que la Luna se encuentra más cerca de la Tierra. Y la fuerza de gravitación se debilita muy rápidamente con la distancia: proporcionalmente a su cuadrado. Si no existiera la Luna, la precesión aunque se conservaría, pero el ángulo del vértice del cono que describe el eje terrestre, sería mucho menor.

Al provocar la precesión, la Luna, por particularidades de su movimiento, introduce en ésta desviaciones periódicas llamadas nutaciones y con un período de 19 años. Con la desaparición de la Luna, desaparecería la nutación.

Si esto fuera posible

Digamos de una vez: se trata de la posibilidad de un viaje al pasado, es decir, del retroceso en la escala del tiempo contra su marcha normal, y del retorno posterior a la contemporaneidad.

Por ahora no discutiremos el lado puramente físico del problema, sino tratemos de imaginarnos qué sucedería si los viajes al pasado realmente fueran posibles: a qué llevaría esto.

Ray Bradbury, conocido escritor norteamericano contemporáneo, tiene un pequeño cuento de ciencia-ficción, pero muy deductivo. Una empresa de viajes organiza para su clientela, los aficionados a la caza, un viaje turístico insólito: con ayuda de una máquina del tiempo los manda a un pasado remoto. ¡Tremenda posibilidad de cazar un dinosaurio!.. No obstante, «los turistas en el tiempo» están obligados de una manera sumamente estricta a atenerse a una condición obligatoria. Se les permite matar sólo un reptil bien determinado, de antemano señalado con exactitud por los empleados de la empresa. Los viajeros no deben meterse en los acontecimientos cualesquiera del mundo antiguo, cambiar algo en él.

Pero una vez uno de los turistas violó la prohibición. Al bajar por un sendero especialmente construido, por el cual tenían que avanzar los viajantes, pisó imprudentemente una mariposa y la aplastó. Por cierto que nadie de los cazadores dió importancia alguna a ese acontecimiento insignificante. Pero al regresar los turistas a nuestro tiempo, vieron con asombro que muchas cosas en el mundo circundante habían cambiado.

Como se sabe, todos los fenómenos acaecidos en la naturaleza representan cadenas ininterrumpidas de causas y efectos. Regresando al pasado

o interviniendo en el transcurso de cualesquiera acontecimientos, cambiándolos, inevitablemente provocaríamos ciertas variaciones en toda la cadena causal siguiente de los fenómenos. Es por eso que los empleados de la empresa de viajes en el cuento de Bradbury señalaban a los cazadores un dinosauro determinado. Escogían un reptil que dentro de unos minutos tendría que morir de todas maneras. Así pues, la cadena causal de los acontemientos no sufría ningunas alteraciones.

Por supuesto que se puede discutir en qué medida una mariposa, aplastada por uno de los personajes del cuento de Bradbury, pudo influir sobre el destino de la humanidad. Pero si los viajes al pasado con ayuda de los aparatos del tipo de la «máquina del tiempo» realmente fueran posibles, las acciones arbitrarias eventuales de los «turistas por las épocas antiguas» podrían, en un principio, provocar unas alteraciones bastante serias de unas u otras secuencias de causas y efectos.

Digamos, en algún siglo XI los viajeros por el tiempo mataron, en una escaramuza con los aborígenes, a un joven. Pero éste tendría hijos, siendo «normal» la marcha de los acontecimientos... Sin embargo, después de la intervención de los forasteros del futuro, esos hijos ya no vendrían al mundo. Por consiguiente, no vendrían todos sus descendientes.

Pero entonces de la contemporaneidad tendrían que desaparecer decenas, si no centenares de personas, para quienes el muerto fue un antecesor directo... Ellos simplemente desaparecerán, se esfumarán sin dejar huella, al decirlo así, en el tiempo, porque de la cadena de causas y efectos, que condujeron a su aparición en el mundo, resulta quitado un eslabón...

De la misma manera podrían desaparecer no

sólo personas, sino obras del arte, edificios y hasta ciudades enteras.

Efectivamente, llegaría una vida no muy alegre para la humanidad si aparecieran las máquinas del tiempo y los aventureros irresponsables se lanzaran en ellas a todo correr por diferentes épocas. Viviríamos con un miedo constante de que alguien o algo puede desaparecer. Por otro lado, los viajeros por el tiempo no sólo destruirían las series aisladas de causas y efectos, sino crearían nuevas, debido a las cuales en nuestra realidad podrían surgir de repente «objetos» completamente inesperados...

Isaak Azimov, célebre científico y escritor de ciencia-ficción norteamericano, tiene una novela muy interesante titulada «El fin de la eternidad», también dedicada a la discusión de las consecuencias posibles de las transportaciones en el tiempo. En ella se describe la actividad de un organismo peculiar «fuera del tiempo», el cual, dominando los métodos de viajes en el tiempo, se ocupaba de la «corrección» y el «mejoramiento» de la realidad.

Al descubrir algunos acontecimientos negativos que tuvieron lugar en la historia real de la humanidad, los especialistas estudiaban minuciosamente su origen y los corregían de tal manera que las consecuencias indeseables de esas causas no llegaban. De la manera correspondiente variaba también la memoria de la humanidad, de la cual desaparecían totalmente todos los recuerdos de las variantes anteriores de acontecimientos.

Aunque todas esas acciones estaban orientadas, al parecer, para mejorar la vida de la gente, éstas, como habría de esperar, fracasaron totalmente, porque es imposible hacer vivir a la humanidad según un «guión» elaborado, sobre todo mediante una intervención elemental en las series de causas y efectos. La historia es la

historia, y aunque unas u otras circunstancias casuales juegan en ella cierto papel, su marcha se determina de todas maneras por las leyes objetivas que se abren camino a través de cualesquiera casualidades. Para influir en los acontecimientos de escala global, habría que no sólo rehacer completamente toda la historia de la humanidad desde el principio hasta el fin, sino cambiar las leyes del desarrollo social.

Pero éste es el lado filosófico de la cuestión. Regresemos a la física. ¿Qué opina esta ciencia sobre la posibilidad de los viajes al pasado? Simplemente los prohibe, exactamente igual que prohibe la construcción del perpetuum movile.

Cualquier acontecimiento que sucede en un sistema físico, afirma la física teórica moderna, puede ejercer influencia sobre la evolución de ese sistema sólo en el futuro, y no puede influir sobre el comportamiento del sistema en el pasado.

Así es la variante física del principio universal de la causalidad que requiere que cada fenómeno tenga una causa natural.

Por otro lado, se podría imaginarse, por difícil que sea, que en algún lugar del Universo hay zonas, en las cuales el tiempo corre en el sentido contrario en comparación con nuestro tiempo. Este hecho podría utilizarse para el viaje al pasado, por lo menos, reciente (o lejano, si el ritmo del transcurso del tiempo en tales zonas es más rápido). Pero para tal propósito habría que hacer dos veces el paso: de nuestra zona a «aquella» y de vuelta.

Aunque este problema no está investigado por completo, puede decirse de antemano que las leyes de la física ponen, por lo visto, sobre tales pasos una prohibición tan rígida como sobre los viajes directos al pasado.

¿Más rápidamente que la luz?

Existe la opinión de que la teoría de la relatividad no admite velocidades superluminosas. ¿De veras es así? ¿Pueden en general, desde el punto de vista de la teoría moderna, existir en la naturaleza velocidades que superen la velocidad de la luz? He aquí como responde a esta pregunta interesante el académico A. L. Zelmanov.

Efectivamente, existe, desde el punto de vista de la teoría de la relatividad, cierta velocidad fundamental *c*, que es la máxima posible de propagación de las interacciones de fuerza cualesquiera. ¿En qué consiste su sentido físico?

Es que el valor de la velocidad, con la cual un mismo objeto se mueve con respecto a diferentes sistemas de referencia, hablando en general, no es igual. El objeto puede estar en reposo con respecto a un sistema, moverse con pequeña velocidad con respecto a otro, y con gran velocidad, con respecto al tercero. En la mecánica newtoniana existe tal velocidad, cuyo valor es igual con respecto a todos los sistemas de referencia, pero es una velocidad infinitamente grande. Tal velocidad es solamente el límite. Cualquier objeto real puede trasladarse sólo con una velocidad finita. Sin embargo, en la mecánica de Newton la velocidad de movimiento de los cuerpos puede ser, en un principio, como se quiera grande.

En la teoría de la relatividad también existe el caso cuando el valor de la velocidad no depende de la elección del sistema de referencia. Esto sucede cuando el cuerpo se mueve con una velocidad, cuyo valor es igual a la fundamental.

De esta manera, la velocidad fundamental de la teoría de la relatividad es un análogo de la velocidad infinitamente grande de la mecánica newtoniana.

Desde el punto de vista de la teoría de la relatividad, cualesquiera traslaciones de las masas y la energía, cualquier transmisión de las interacciones de fuerza pueden suceder sólo con velocidades que no excedan la fundamental.

Existen objetos que poseen una masa de reposo no igual a cero: éstos se mueven sólo con velocidades menores que la fundamental, y objetos, cuya masa de reposo es nula (fotones y neutrinos): éstos pueden trasladarse sólo con la velocidad fundamental.

No obstante, por extraño y paradójico que parezca, pueden existir velocidades que superen la fundamental. De uno de los ejemplos de tal velocidad puede servir la velocidad de traslación de un reflejo de sol por la pared. Se puede hacerlo moverse con una velocidad tan grande como se quiera. Pero es tan sólo la velocidad de traslación del lugar alumbrado sobre la superficie de la pared: en este caso no sucede ningún movimiento de la materia o la transmisión de la interacción con tal velocidad.

Ahora tratemos de definir qué es en general la velocidad de movimiento de cualquier objeto. Siempre es la velocidad de movimiento con respecto a cierto sistema de referencia. Más todavía, con respecto a tal punto de ese sistema, a través del cual pasa el objeto en el momento dado. Hablando en rigor, no tiene sentido hablar sobre la velocidad de movimiento del objeto con respecto a algún otro punto que se halla a cierta distancia, o con respecto a otro objeto que existió en otra época.

En este caso, ¿qué representa la velocidad de movimiento de alguna galaxia con relación a un observador terrestre? Es evidente que tal idea no tiene sentido alguno, ya que estamos separados tanto en el espacio como en el tiempo.

¿De qué velocidad se puede hablar de todas

maneras en tal caso? Sólo de la velocidad de movimiento de la galaxia con respecto a cierto sistema de referencia determinado que abarca aquella zona y aquella época, en la cual existimos nosotros, y aquella zona y aquella época, en la cual se hallaba la galaxia en el momento de salir el rayo de luz. Pero semejante sistema de referencia puede construirse de diferentes maneras. Elijamos, entre las variantes posibles, tal sistema, con respecto al cual nuestra propia velocidad es nula. Entonces la velocidad de las demás galaxias dependerá, evidentemente, de si se deforma nuestro sistema de referencia con el tiempo, y si es así, de qué manera. Sería natural escoger un sistema de referencia «rígido», no deformable. Pero es imposible, ya que en virtud del alejamiento mutuo de las galaxias cambia la densidad de distribución de las masas, y a consecuencia de esto, la geometría del espacio.

Tratemos de eligir en tal caso un sistema de referencia, que no se deforma por lo menos en las direcciones radiales a partir del punto donde nosotros mismos nos hallamos. Esto es posible en un Universo isótropo homogéneo. Con relación a tal sistema de referencia, las velocidades de movimiento de las galaxias difieren de cero, y su valor es siempre menor que la fundamental. Estas velocidades, evidentemente, son a la vez las velocidades de variación de las distancias entre las galaxias que se alejan y el punto donde nos hallamos nosotros.

Pero en la teoría es más cómodo valerse del sistema de referencia deformable que acompaña el sistema expansivo de las galaxias, es decir, tal sistema de referencia, en el cual las velocidades de todas las galaxias son iguales a cero (si se prescinde de las velocidades relativamente pequeñas de movimientos desordenados). En el sistema de referencia acompañante, las distancias

entre las galaxias varían no en virtud de sus traslaciones con respecto a ese sistema, sino gracias a la deformación (expansión) del propio sistema de referencia.

Esas velocidades de variación de las distancias entre las galaxias pueden resultar, a semejanza con la velocidad de traslación de un reflejo de luz sobre la pared, mayor que la fundamental.

Pero éstas no son ni mucho menos las velocidades de movimiento de algunos objetos materiales.

Pero en este caso parece que surge una situación completamente paradójica. Resulta que en el primer sistema de referencia, las velocidades de variación de las distancias entre las galaxias son siempre menores que la fundamental, mientras que tales velocidades en el segundo sistema pueden ser mayores que la fundamental.

Pero es una contradicción aparente. Es que tanto la distancia entre dos objetos cualesquiera como la velocidad de su variación son magnitudes que dependen del sistema de referencia.

¿Si fueran cuatro?

Es sabido por todos que el mundo que habitamos es tridimensional. El espacio que nos rodea tiene tres dimensiones, a saber: el largo, el ancho y la altura.

¿Y si nuestro mundo tuviera más de tres dimensiones? ¿Cómo influiría una dimensión «de más» sobre el transcurso de diferentes procesos físicos?

En las páginas de las obras modernas de ciencia-ficción se puede encontrar con bastante frecuencia el vencimiento casi momentáneo de las enormes distancias cósmicas con ayuda de la llamada «transportación cero» o la transición

a través del «hiperespacio», o «subespacio», o «superespacio».

¿Qué sobreentienden los escritores de ciencia-ficción? Es que es bien sabido que la máxima velocidad de movimiento de todos los cuerpos reales es la velocidad de la luz en el vacío, y que prácticamente es inalcanzable. ¿De qué «saltos»

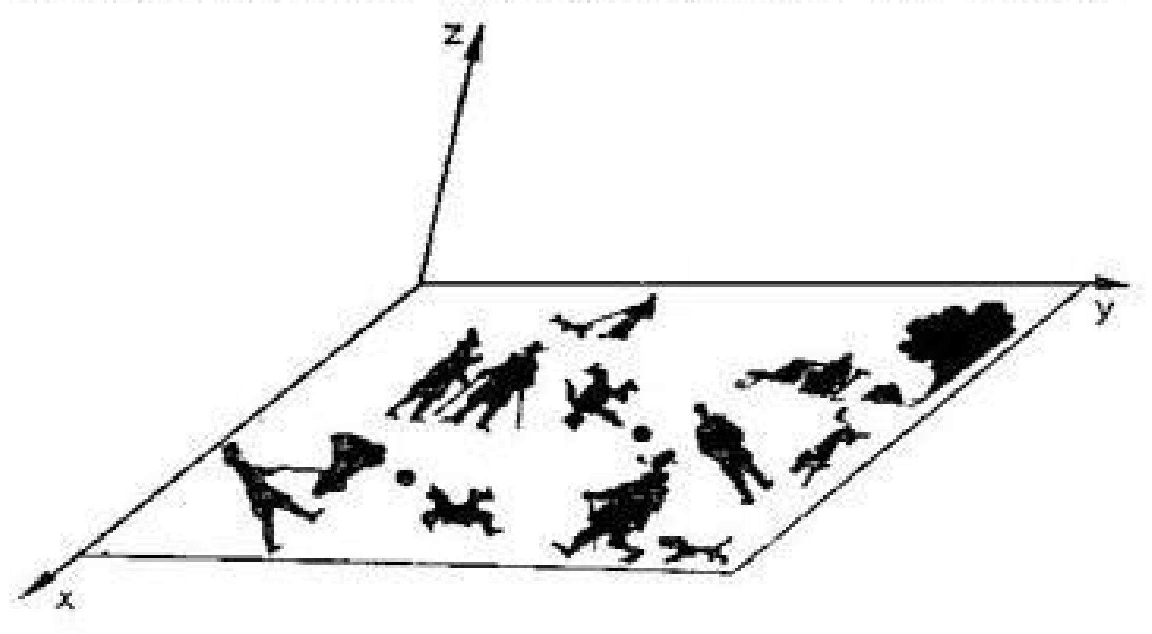


Fig. 20. Seres bidimensionales imaginarios

a través de millones y centenares de millones de años-luz se puede hablar? Por supuesto que esta idea es fantástica. Sin embargo, su base la constituyen unos razonamientos físico-matemáticos bastante interesantes.

Para comenzar, imaginémonos un ser puntual que vive en el espacio unidimensional, es decir, sobre una recta. En este mundo «estrecho» hay sólo una dimensión, la longitud, y sólo dos posibles direcciones: adelante y atrás.

Los seres imaginarios bidimensionales, los «planíferos», tienen mucho más posibilidades. Ya pueden trasladarse en dos dimensiones, en su mundo, además del largo, hay también el ancho. Pero igualmente no son capaces de salir a la tercera dimensión como los seres puntuales no

pueden «saltar» fuera de su línea recta. Los habitantes uni y bidimensionales pueden, en un principio, llegar a la conclusión teórica sobre la posibilidad de existencia de mayor número de dimensiones, pero para ellos está cerrado el camino a la dimensión siguiente.

Por ambos lados del plano se halla el espacio tridimensional que habitamos nosotros, seres tridimensionales, desconocidos para el habitante bidimensional encerrado en su mundo bidimensional: es que hasta puede ver sólo dentro de los límites de su espacio. En virtud de esto, el habitante bidimensional podría conocer sobre la existencia del mundo tridimensional y sus habitantes sólo en el caso si algún hombre, por ejemplo, atravesara el plano con un dedo. Pero hasta entonces el ser bidimensional podría observar sólo una zona bidimensional de contacto entre el dedo y el plano. Es poco probable que esto fuera suficiente para hacer algunas conclusiones sobre el espacio tridimensional «de otro mundo», desde el punto de vista del habitante bidimensional, y sus moradores «misteriosos».

Pero se puede exponer un razonamiento completamente igual para nuestro espacio tridimensional si éste estuviera encerrado dentro de un espacio aun más amplio, de cuatro dimensiones, al igual que la superficie bidimensional está encerrada dentro de éste.

Pero vamos a aclarar primeramente qué representa el espacio de cuatro dimensiones. En el espacio tridimensional existen tres mediciones «básicas» mutuamente perpendiculares: «largo», «ancho» y «altura» (tres direcciones mutuamente perpendiculares de los ejes de coordenadas). Si a esas tres direcciones se pudiera añadir la cuarta, también perpendicular a cada una de ellas, el espacio tendría cuatro mediciones, sería de cuatro dimensiones.

Desde el punto de vista de la lógica matemática, el razonamiento sobre el espacio de cuatro dimensiones es absolutamente infalible. Pero por sí mismo no demuestra nada, ya que la falta de contradicciones lógica no es todavía una comprobación de la *existencia* en el sentido físico. Sólo la *experiencia* es capaz de dar tal comprobación. Pero la experiencia testimonia que en

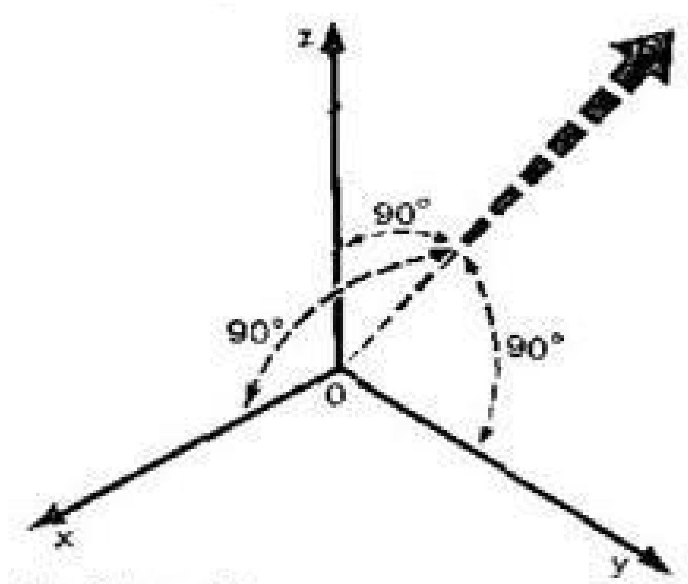


Fig. 21. Cuarta dimensión

nuestro espacio se puede trazar a través de un punto sólo tres rectas mutuamente perpendiculares.

Dirijámonos una vez más a la ayuda de los «planíferos». Para esos seres la tercera dimensión (a la cual no pueden salir) es lo mismo que para nosotros la cuarta. Sin embargo, hay una diferencia considerable entre los seres planos imaginarios y nosotros, habitantes del espacio tridimensional. Mientras que el plano es una parte bidimensional del mundo tridimensional que realmente existe, todos los datos científicos que están a nuestro alcance testimonian con evidencia que el mundo que habitamos es geométricamente tridimensional y no es una parte de algún mundo de cuatro dimensiones. Si tal mundo de

cuatro dimensiones realmente existiera, en nuestro mundo tridimensional podrían suceder ciertos fenómenos «extraños».

Volvamos de nuevo al mundo plano de dos dimensiones. Aunque sus habitantes no pueden salir de los límites del plano, sin embargo, gracias a la existencia del mundo tridimensional exterior,

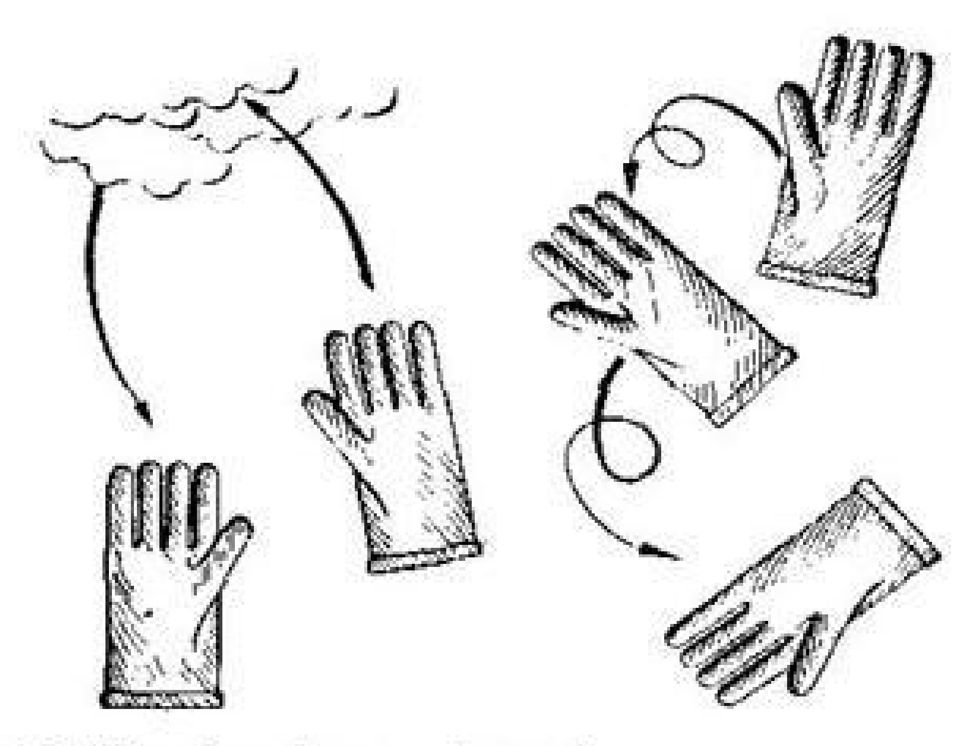


Fig. 22. Experimento con el guante

algunos fenómenos pueden transcurrir aquí, en un principio, con la salida a la tercera dimensión. En una serie de casos, esta circunstancia hace posibles tales procesos que no podrían suceder en un mundo por sí bidimensional.

Imaginémonos, por ejemplo, una esfera corriente del reloj dibujada en el plano. Por variados que sean los métodos de girar o trasladar la esfera, permaneciendo ésta en el plano, jamás lograremos cambiar la dirección de la disposición de las cifras de tal manera que sigan una a otra contra el sentido de las manecillas del reloj. Se puede hacerlo sólo «sacando» la esfera del

plano al espacio tridimensional, volviéndola y luego poniéndola de nuevo sobre el plano.

En el espacio tridimensional, a una operación semejante le correspondería, por ejemplo, la siguiente. ¿Es posible que un guante para la mano derecha se convierta, únicamente mediante las traslaciones en el espacio (es decir, sin volverlo del revés), en un guante para la mano izquierda? Cada uno puede convencerse con facilidad de que tal operación es irrealizable. No obstante, al existir el espacio de cuatro dimensiones, este propósito podría lograrse con la misma simpleza que en el caso de la esfera.

Ignoramos la salida al espacio de cuatro dimensiones. Pero la cosa no está solamente en esto. La desconoce, por lo visto, también la naturaleza. Por lo menos no conocemos ningunos fenómenos que podrían explicarse por la existencia del mundo de cuatro dimensiones que abarca el nuestro tridimensional.

¡Es verdaderamente una lástima!

Si existieran realmente el espacio de cuatro dimensiones y la salida a éste se abrirían unas posibilidades extraordinarias.

Imaginémonos un «planífero» que necesita vencer la distancia entre dos puntos del mundo plano alejados uno de otro, digamos, a 50 km. Si el «planífero» se traslada con la velocidad de un metro por día, un viaje semejante llevará más de cien años. Pero imagínense que la superficie bidimensional está enrollada en el espacio tridimensional de tal manera que los puntos del inicio y el final de la ruta se encuentren uno de otro a sólo un metro. Ahora los separa una distancia muy corta, la cual el «planífero» podría vencer tan sólo en un día. ¡Pero ese metro se halla en la tercera dimensión! Precisamente esto sería la «transportación cero» o la «hipertransición».

Una situación análoga podría surgir en el mundo tridimensional encorvado...

Como ha mostrado la teoría general de la relatividad, nuestro mundo realmente tiene curvatura. Ya lo sabemos. Y si además existiera el espacio de cuatro dimensiones, en el cual está sumergido nuestro mundo tridimensional, entonces para vencer ciertas distancias cósmicas gigantescas bastaría con «saltar» a través de una

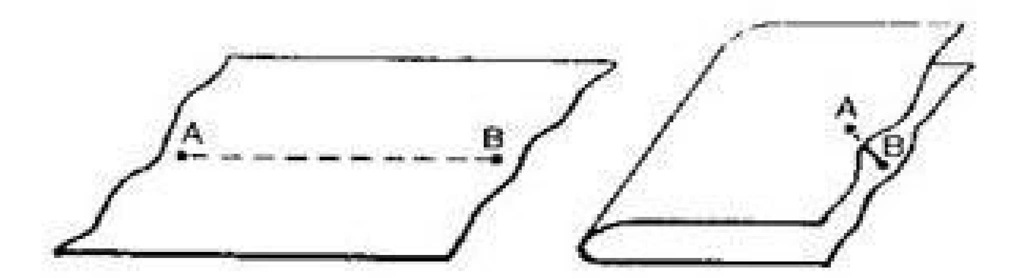


Fig. 23. Sentido geométrico del método fantástico de la transportación cero

ranura de cuatro dimensiones que los separa. He aquí lo que tienen en cuenta los escritores de ciencia-ficción.

Tales son las ventajas seductoras del mundo de cuatro dimensiones. Pero además tiene «desventajas». Resulta que con el aumento del número de dimensiones disminuye la estabilidad del movimiento. Las numerosas investigaciones muestran que en el espacio bidimensional ninguna perturbación en absoluto puede alterar el equilibrio y alejar al infinito el cuerpo que se mueve en una trayectoria cerrada alrededor de otro cuerpo. En el espacio de tres dimensiones, las restricciones ya son mucho más débiles, pero también aquí de todas maneras la trayectoria de un cuerpo en movimiento no se va al infinito, a condición de que la fuerza perturbadora no sea lo excesivamente grande.

Pero ya en el espacio de cuatro dimensiones todas las trayectorias circulares se hacen inesta-

bles. En tal espacio los planetas no podrían girar alrededor del Sol: ya caerían sobre éste, ya se irían volando al infinito.

Se podría también mostrar, utilizando las ecuaciones de la mecánica cuántica, que en el espacio que tiene más de tres dimensiones no podría existir, como una formación estable, tampoco el átomo de hidrógeno. El electrón caería inevitablemente sobre el núcleo.

La adición de la cuarta dimensión cambiaría también algunas propiedades puramente geométricas del espacio. Uno de los apartados importantes de la geometría, que representa no sólo el interés teórico, sino también un gran interés práctico, es la llamada teoría de las transformaciones. Se trata de cómo cambian diferentes figuras geométricas al pasar de un sistema de coordenadas a otro. Uno de los tipos de tales transformaciones geométricas lleva el nombre de conformes. Así se llaman las transformaciones que conservan los ángulos.

Al decir más exactamente, el asunto está en lo siguiente. Imagínense alguna figura geométrica simple, digamos, un cuadrado o un polígono. Pongamos sobre éste una red de líneas arbitraria, un «esqueleto» peculiar. Entonces llamaremos conformes tales transformaciones del sistema de coordenadas, con las cuales nuestro cuadrado o polígono se convierta en otra figura cualquiera, pero de tal manera que se conserven los ángulos entre las líneas del «esqueleto». Como ejemplo evidente de una transformación conforme puede citarse la traslación de la superficie del globo sobre el plano: precisamente así se construyen los mapas geográficos.

Ya en el siglo pasado, el matemático B. Riemann ha mostrado que cualquier figura plana continua (es decir, sin «huecos» o, como dicen los matemáticos, simplemente conexa) puede

transformarse conformemente al círculo.

J. Liouville, el contemporáneo de Riemann, demostró dentro de poco tiempo un teorema importante más de que no todo cuerpo tridimensional puede transformarse conformemente en esfera.

De esta manera, las posibilidades de las transformaciones conformes en el espacio tridimensional no son tan amplias ni mucho menos que en el plano. La adición de tan sólo un eje de coordenadas impone sobre las propiedades geométricas del espacio unas restricciones complementarias bastante rígidas.

¿No será por eso que el espacio real es precisamente tridimensional y no bidimensional o, digamos, de cinco dimensiones? ¿Quizás, la cosa consiste en que el espacio de dos dimensiones esté demasiado libre, mientras que la geometría del mundo de cinco dimensiones, por el contrario, está «fijada» demasiado rígidamente? Pero realmente, ¿por qué? ¿Por qué el espacio que habitamos es tridimensional y no de cuatro o de cinco dimensiones?

Muchos científicos trataron de responder a esta pregunta partiendo de las razones filosóficas generales. El mundo debe poseer la perfección, afirmaba Aristóteles, y sólo tres dimensiones son capaces de garantizar dicha perfección. Sin embargo, los problemas físicos concretos no pueden resolverse con métodos semejantes.

El paso siguiente fue hecho por Galileo quien notó el hecho experimental de que en nuestro mundo pueden existir como máximo tres direcciones mutuamente perpendiculares. No obstante, Galileo no se ocupaba de la aclaración de las causas de tal situación de las cosas.

Lo trató de hacer Leibniz con ayuda de unas demostraciones puramente geométricas. Pero tal vía también es de poca eficiencia, ya que dichas demostraciones se construían especulativamente,

sin enlace alguno con el mundo circundante.

Entre tanto, tal o cual número de dimensiones es la propiedad física de un espacio real, y ésta debe tener causas físicas bien determinadas, ser una consecuencia de ciertas leyes físicas profundas.

Es poco probable que se puedan deducir esas causas a partir de unas u otras tesis de la física moderna. Es que la propiedad de la tridimensionalidad del espacio se halla en el propio fundamento, la propia base de todas las teorías físicas existentes. Según parece, la solución de ese problema será posible sólo dentro de los límites de la teoría física más general del futuro.

Y, por fin, el último problema. En la teoría de la relatividad se trata del espacio de cuatro dimensiones del Universo. Pero no es precisamente aquel espacio de cuatro dimensiones, sobre el cual hemos hablado más arriba.

Comencemos con que el espacio de cuatro dimensiones de la teoría de la relatividad no es un espacio corriente. La cuarta dimensión aquí es el tiempo. Como ya hemos dicho, la teoría de la relatividad estableció un vínculo estrecho entre el espacio y la materia. Pero no solamente esto. Resultó que están enlazados directamente entre sí también la materia y el tiempo y, por consiguiente, el espacio y el tiempo. Tomando en consideración esa dependencia, G. Minkowski, célebre matemático cuyos trabajos constituyeron la base de la teoría de la relatividad, decía: «Desde ahora el espacio por sí mismo y el tiempo por sí mismo deben convertirse en sombras, y sólo su combinación de cierto género conservará la independencia». Minkowski propuso utilizar para la expresión matemática de la dependencia del espacio y el tiempo un modelo geométrico convencional, el «espacio—tiempo» de cuatro dimensiones. En este espacio convencional, en los tres ejes principales se colocan, como de costum-

bre, los intervalos de longitud, en el cuarto eje, los intervalos del tiempo.

Así pues, el «espacio—tiempo» de cuatro dimensiones de la teoría de la relatividad no es sino un procedimiento matemático que permite describir, en forma cómoda, diferentes procesos físicos. Por eso puede hablarse que vivimos dentro de un espacio de cuatro dimensiones sólo en el sentido de que todos los acontecimientos que suceden en el mundo, se cometen no sólo en el espacio, sino también en el tiempo.

Por supuesto que en cualesquiera construcciones matemáticas, hasta las más abstractas, se reflejan algunos lados de la realidad objetiva, algunas relaciones entre los objetos y fenómenos que realmente existen. Pero sería un error grave poner el signo de igualdad entre los aparatos matemáticos auxiliares, así como la terminología convencional aplicada en las matemáticas, y la realidad objetiva.

A la luz de estos razonamientos se hace claro que afirmar que nuestro mundo es de cuatro dimensiones, alegando a la teoría de la relatividad, es más o menos lo mismo que defender la idea de que las manchas obscuras en la Luna están llenas de agua en virtud de que los astrónomos las denominan mares.

Así que la «transportación cero», por lo menos al nivel moderno del desarrollo de la ciencia, es realizable, lastimadamente, sólo en las páginas de las novelas de ciencia-ficción.

En un Universo en contracción

Ya hemos hablado de que nuestra zona del Universo, la Metagalaxia, se halla en expansión, y cuanto más lejos se encuentra una u otra galaxia, tanto más rápidamente se aleja de nosotros.

No obstante, las ecuaciones de la teoría de la relatividad admiten también otra posibilidad: la compresión.

¿Tiene algún valor de principio el hecho de que la Metagalaxia precisamente se extiende y no se comprime?

Tratemos de responder a la pregunta siguiente: ¿qué sería si la Metagalaxia se comprimiera? ¿Cambiaría algo en el cuadro del mundo que nos rodea?

Puede parecer a simple vista que no pasaría nada extraordinario. Nadie notaría nada, solamente los astrónomos observarían, en vez del desplazamiento hacia el rojo, el desplazamiento hacia el violeta. Es que las galaxias están separadas de la Tierra por unas distancias colosales de millones y miles de millones de años-luz.

No obstante, de hecho las cosas están lejos de ser tan simples... Comencemos con una pregunta, al parecer simple y hasta un poco inocente: ¿por qué las noches son oscuras? En realidad es un problema muy serio, que desempeñó un papel importante en el desarrollo de las nociones científicas sobre el Universo. Entró en la historia de la astronomía bajo el nombre de paradoja fotométrica. Consiste en lo siguiente.

Si en todas partes del Universo están dispersadas las estrellas, las cuales radían, como promedio, unas cantidades aproximadamente iguales de luz, éstas cubrirían con sus discos toda la bóveda celeste, independientemente de si están agrupadas en la galaxia o no. Es que la Metagalaxia está constituida por varios miles de millones de estrellas, y dondequiera que dirijamos nuestra mirada, ésta, casi sin duda alguna topará, tarde o temprano, con alguna estrella.

Con otras palabras, cada tramo del cielo estrellado debería lucir tal como una parte del disco solar, dado que en semejante situación el brillo

superficial visible no depende de la distancia. Desde el cielo sobre nosotros caería una torrente deslumbrante y caliente de luz correspondiente a una temperatura de alrededor de 6 mil grados, superando casi 200000 veces la luz del Sol. Entre tanto, el cielo nocturno es negro y frío. ¿Qué pasa?

En su tiempo se trató de eliminar la paradoja fotométrica alegando a la absorción de la luz por la materia interestelar difusa. Pero el astrónomo soviético V. G. Fesénkov mostró, en 1937, que esto no salva la situación. La materia interestelar no tanto absorbe la luz de las estrellas, cuanto la dispersa. De esta manera, la situación hasta se torna más complicada.

Sólo en la teoría de la expansión de la Metagalaxia la paradoja fotométrica se elimina automáticamente. Como las galaxias se dispersan, en sus espectros sucede, como ya sabemos, el desplazamiento hacia el rojo de las líneas espectrales. Como resultado la frecuencia, esto es, también la energía de cada fotón están reducidas. Es que el desplazamiento hacia el rojo no es sino el desplazamiento de la radiación electromagnética hacia ondas más largas. Y cuanto mayor es la longitud de la onda, tanto más lejos se halla la galaxia, tanto mayor es el desplazamiento hacia el rojo, o sea tanto más se debilita la energía de cada fotón que nos alcanza.

Además, el aumento ininterrumpido de la distancia entre la Tierra y la galaxia que se aleja hace que cada fotón siguiente tiene que vencer un recorrido un poco mayor que el anterior. Gracias a esto, los fotones dan con el receptor más raramente que son emitidos por la fuente. Por tanto, disminuye también el número de fotones que vienen por unidad de tiempo. Esto también conduce a la disminución de la cantidad de energía que viene por unidad de tiempo.

Por consiguiente, el desplazamiento hacia el rojo debilita la radiación de cada galaxia tanto más fuerte, cuanto más lejos se halla de nosotros. De esta manera, debido al desplazamiento hacia el rojo sucede no sólo el traslado de la radiación a la zona de frecuencias más bajas, sino también la debilitación de su energía. Precisamente por eso el cielo nocturno permanece negro.

Así que hemos llegado a la respuesta a la pregunta hecha: ¿qué sucedería si la Metagalaxia se comprimiese?

Si la compresión ya durara por lo menos unos miles de millones de años, en vez del desplazamiento hacia el rojo observaríamos en los espectros de las galaxias el desplazamiento hacia el violeta. El desplazamiento de la radiación sucedería hacia las frecuencias más altas, y el brillo del cielo no estaría debilitado, sino por el contrario, aumentado.

En semejantes condiciones, la vida no podría existir en nuestra zona del Universo. Esto quiere decir que no es nada casual que vivimos precisamente en el sistema expansivo de galaxias y observamos precisamente el desplazamiento hacia el rojo en sus espectros.

Como notó graciosamente A. L. Zelmánov, somos testigos de los procesos de un tipo determinado porque los procesos de otro tipo transcurren sin testigos. En particular, la vida es imposible en las etapas tempranas de la expansión y en las tardías de la compresión.

"Si se supiera de antemano..." (ciencia-ficción)

Barkálov conducía el coche a velocidad límite, cuanto le permitía el trazado sinuoso de montaña. Por fin, la carretera se encorvó haciendo el úl-

timo virage y se hundió en un valle cortado por una línea de ferrocarril recta como un rayo de luz. Barkálov pisó el pedal hasta el tope, y el coche, lanzándose adelante, lo llevó en un tramo de carretera paralelo al terraplén. Atrás se adivinaba la respiración precipitada de un expreso de pasajeros que lo alcanzaba.

De súbito hasta el oído de Barkálov llegó el estrépito de un derrumbe lejano. Redujo la velocidad y escuchó. Los truenos amortiguados se oían adelante y a la derecha de la carretera.

—Es extraño —pensó Barkálov—, este derrumbe no puede causar daño alguno al asiento de la vía férrea: está demasiado lejos. ¿Quizás, todo esto es una tontería, tan sólo una paradoja inofensiva, puramente teórica, que no tiene que ver nada con la realidad? ¡Pero el derrumbe sí ha pasado de todas maneras! ¡Y precisamente a esta misma hora! La posibilidad de una coincidencia casual es prácticamente ínfima...

Una vez terminado el seminario, el académico Matvéev llegó a encontrar a Barkálov en la cantina:

—Por poco le pierdo de vista —dijo Matvéev, y a Barkálov le pareció que su voz tembló algo extraño—. Sé que está muy apurado, pero le ruego, Serguei Nikoláevich que pase por mi gabinete ahora mismo.

Barkálov realmente tenía prisa: guardaba en un bolsillo un pasaje para el expreso del Sur que tendría que llevarlo al observatorio del instituto, donde los astrónomos se proponían comprobar un efecto predicho por él. Quedaban hasta la partida menos de dos horas, todavía tenía que hacer algo, y Barkálov no tenía la menor gana de detenerse. Estaba a punto de negarse aludiendo a la falta de tiempo, pero el temblor de la voz y una expresión confusa que pasó por su rostro lo detuvieron. Lo extraño fue

también el hecho de que el académico se dirigió a él utilizando el nombre patronímico: generalmente no lo hacía, probablemente, para ahorrar el tiempo. Además, el académico Matvéev era un científico de fama mundial, un verdadero generador de ideas sorprendentes, y Barkálov se creía su discípulo. Y en vez de negarse cortesmente, Barkálov se levantó de la mesa dejando una taza de café a medio beber, y se dirigió en pos de Matvéev.

En el pasillo del segundo piso el académico dejó pasar a Barkálov y lo llevó sosteniendo bajo el codo, como si temiera perderlo. Barkálov se sorprendía cada vez más.

Al llegar al gabinete, Matvéev suspiró con alivio, por lo menos, así le pareció a Barkálov, y, haciendo sentar a su huésped en un sillón, se acomodó enfrente.

—Hace poco que estuve en su informe, Serguei Nikoláevich, donde usted expuso las bases de su teoría matemática —comenzó sin preámbulos—. Y quiero decir que considero extraordinario a su trabajo. Usted, Serguei Nikoláevich, tiene mucho talento, y hasta más... Preveo que esa teoría no sólo abrirá unas posibilidades completamente nuevas en las matemáticas, sino que ejercerá una influencia enorme sobre la física.

Barkálov escuchaba sin creer a sus oídos. Era asombroso lo que decía ahora Matvéev. Jamás alababa a alguien a la cara. Pero reprimía muchas veces, sin deplomacia ni compromisos. Pero lo de alabar..., tal caso Barkálov no podía recordar.

—Tiene que obligatoriamente llevar hasta el cabo este trabajo—continuó Matvéev.

—Precisamente de eso me ocupo —murmuró Barkálov sin comprender todavía nada.

El académico guardó silencio y, echando para

adelante la cabeza, miró con ceno atentamente a Barkálov.

—Por eso, querido Serguei Nikoláevich, usted tiene que... cuidarse.

—No comprendo nada! —exclamó Barkálov confundido del todo.

—Sabe, como se decía antaño: a quien se cuida, Dios no le olvida.

—Perdone, Rostislav Valeriánovich —no pudo contenerse Barkálov—, usted hace algunas insinuaciones. ¿Sabe acerca de mí algo que yo mismo no sé?

—Más o menos —replicó indeterminadamente Matvéev.

—Dígame por fin ¿qué pasa?—suplicó Matvéev echando furtivamente una mirada inquieta al reloj.

—La verdad es que no sale tan simplemente —exclamó enigmáticamente Matvéev y, de un tirón lanzando su cuerpo grueso del sillón, comenzó a dar vueltas por el gabinete—. ¿Usted conoce la hipótesis del Universo cíclico en el tiempo?

—¿La idea del retorno eterno? ¿Schopenhauer y Nietzsche?

—No solamente esto. Kurt Gedel, todavía siendo vivo Einstein, construyó el modelo del Universo, para el cual las líneas geodésicas temporalmente semejantes resultan cerradas. En tal Universo todo se repite periódicamente.

—Pero si no me falta la memoria —notó Barkálov—, Einstein se mostró bastante crítico con respecto a ese trabajo.

—Los testimonios de los testigos son muy discordantes en lo que se refiere al caso —replicó Matvéev—. Pero el asunto no está en eso.

—Si mal no recuerdo —continuó Barkálov—, Chandrasekar mostró más tarde que las trayectorias cerradas en el modelo de Gedel deben ser

rechazadas, si se parte del principio de la razonabilidad física.

—Vaya, querido —exclamó Matvéev—, semejante argumentación vale poco. ¿Qué significa la razonabilidad física? Puede comprenderse de una manera u otra.

—¿Qué quiere decir? —se puso en guardia Barkálov.

— Por supuesto, el modelo de Gedel es infundado. Chandrasecar indudablemente tiene razón. Pero esto no excluye por completo la posibilidad de existencia de modelos cíclicos en general.

— ¿Ha llegado a conseguir algo? —preguntó con interés Barkálov.

— Así es... —gruñó sin mucho entusiasmo el académico—. Hay una construcción.

— Es muy interesante —dijo Barkálov y miró de nuevo al reloj.

Matvéev interceptó su mirada.

— ¿Está apurado?.. No vale la pena. De todas maneras, tarde o temprano, el Universo retornará a este mismo momento.

— ¿Habla usted en serio? —se sorprendió Barkálov—. Pero una cosa es el modelo teórico, aunque sea no contradictorio, y completamente otra...

— ¿Y completamente otra cosa es la realidad? ¿Esto es lo que quiso decir? Vamos.

Matvéev, sin mirar a Barkálov, cruzó el gabinete y desapareció en la puerta detrás del escritorio. Barkálov no tuvo otro remedio que seguirlo. Marcharon por un pasillo interior largo y estrecho, dejaron atrás las gruesas puertas protectoras de plomo y se encontraron en una sala espaciosa totalmente ocupada por unos aparatos complicados.

El académico se paró cerca del tablero con numerosos botones y pantallas de control y miró elocuentemente a su huésped.

—¡Impresionante! —dijo Barkálov—. Pero ruego tome en consideración que soy matemático puro, y nada comprendo en esta técnica. Y tengo que prevenirle que sobre mí circulan anécdotas, lo mismo que sobre el joven Pauli: se afirma que cuando yo aparezco en un laboratorio, todos los instrumentos fallan por sí mismos. ¡Así que cuidado, Rostislav Valeriánovich!

— No tiene importancia —pronunció Matvéev con una voz algo extraña—. Ya se han puesto en marcha—. Y continuó, sin darle a Barkálov tiempo para volver sobre sí, en un tono completamente diferente:

— Serguei Nikoláevich, usted se prepara para un viaje. Le ruego suprimirlo.

— ¿Pero por qué? —preguntó maquinalmente Barkálov y se calló enseguida: ¿cómo Matvéev pudo saber sobre su viaje?

— ¿Por qué? —volvió a preguntar el académico—. ¿Usted puede creerme de palabra?

— Perdóneme, Rostislav Valeriánovich, nunca he creido en las adivinanzas.

— ¿Pero usted de veras se prepara a salir?

— No es ningún secreto. Aproximadamente dentro de una hora.

— ¿En tren? ¿En dirección sur?

— Rostislav Valeriánovich, si esto es una burla, ahora...

— Por favor, responda a mi pregunda —exigió el académico.

— Sí, en tren... Sí, hacia el sur —respondió Barkálov apenas conteniendo la irritación.

— Pues así, mi querido —dijo decididamente Matvéev—, usted no irá a ninguna parte.

— ¿Qué bromas son éstas, Rostislav Valeriánovich? —se encolerizó Barkálov—. Usted me caza en la cantina, casi a fuerza me lleva a su gabinete, se pone a hablar de los modelos cíclicos del Universo, luego demuestra algunos aparatos

incomprensibles para mí y al fin y al cabo exige que yo me niegue del viaje planificado. Reconozca quo por lo menos todo esto es extraño.

— Sí —suspiró Matvéev—. ¿Exige explicaciones? Precisamente quise evitarlas.

— Pero, Rostislav Valeriánovich, si esto toca a mí, ¿puedo saber de qué se trata?

—Hay casos cuando lo mejor es no saber.

— ¿Me lo dice usted? —se extrañó Barkálov . ¡Un enigma más! ¿No son demasiados los enigmas?

— Acaba de mencionar las adivinanzas y predicciones... Ahora bien, todo lo que conozco también es, si usted quiere, una predicción. ¿Me parezco a un profeta? —Matvéev simulo una sonrisa, pero sus ojos permanecierón serios.

— Bien, mi querido Serguei Nikoláevich —continuó Matvéev—, ¿ha oído hablar alguna vez de los pronósticos autoorganizantes? Ciertas predicciones se cumplen precisamente porquo han sido hechas. ¿Recuerda la leyenda de Edipo? Pero no quiero en absoluto que mi predicción se cumpla... Entonces, ¿también después de esto sigue insistiendo?

— Por supuesto que sí —dijo con firmeza Barkálov—. Si ha empezado, hable hasta el fin.

— Pues bien —dijo Matvéev suspirando— entonces preste atención: si no se niega de su viaje, le espera un gran desagrado... en una palabra... la muerte.

Barkálov tembló de sorpresa. Un escalofrío le corrió por la espalda.

— ¿Qué absurdo es ésto? —murmuró él—. ¿Cómo lo puede saber?

Matvéev señaló con la cabeza a los aparatos:

— Yo he visto...

— Espere... —Barkálov se puso pálido—. ¿Usted quiere decir que?...

— Efectivamente, esta instalación nos ha

permitido mirar al ciclo anterior, a los alrededores del correspondiente punto espacial-temporal. Hemos tratado de explorar por todas las coordenadas, pero el equipo todavía no está perfecto, y las imágenes salieron no claras y borrosas. Sin embargo, ha sido posible ver algo.

— ¿También esto?

— De otra manera, ¿de dónde supe que se prepara para salir, y hasta en tren en dirección sur?

— ¿Puede mostrarme la videograbación? —preguntó Barkálov en voz queda.

— ¿Tal vez, no valga la pena? No es tan agradable ver... Usted me comprenderá.

— No —dijo Barkálov con firmeza—, tengo que verlo.

— Bien —replicó cansadamente Matvéev—. Entonces mire la pantalla—. Apretó un botón en el tablero.

La superficie mate de la pantalla se llenó de una niebla azul-rosada que se elevaba en nubes. Después se dispersó, y ante Barkálov se abrió una ventana a otro mundo...

Barkálov reconoció el edificio del instituto, la sala de conferencias donde se celebraba una reunión; entre los que estaban en torno de la mesa, en el escenario, se adivinaban borrosamente unas caras conocidas. Luego la imagen empezó a correr vertiginosamente imposibilitando discernir algo. Cuando la pantalla se despejó de nuevo, en ésta pasaron las montañas, luego un valle: por el asiento de la vía férrea corría un trén. Estos cuadros fueron sustituidos de nuevo por un paisaje montañoso, pero de repente la corriente impetuosa de un derrumbe atravesó la pantalla. Unas gigantescas glebas, arrasando todo en su camino, rodaban hacia abajo llevando consigo nuevos fragmentos. Durante cierto tiempo la superficie luminosa de la pan-

talla se llenó de interferencias, y una vez cesadas éstas, apareció la imagen terrible de una catástrofe ferroviaria, más exactamente, de sus consecuencias: vagones deformados, apilados unos encima de otros, el terraplén destruido, por aquí y por allá cadáveres. La imagen se amplificó, dejando ver las caras de la gente que yacía sobre la tierra...

Matvéev apretó otro botón, y la imagen se quedó inmóvil. Barkálov casi pegó la cara a la pantalla. Justamente en el centro del cuadro vio a sí mismo. El doble de Barkálov, abriendo sin vida los brazos, yacía al borde del terraplén aplastado por un vagón caído de canto.

— ¿Cuando... fue esto? —espiró con dificultad Barkálov, reconociendo enseguida todo el carácter paradójico y absurdo de su pregunta.

Sin embargo, Matvéev respondió inmutablemente con tono académico:

— Del orden de treinta-cuarenta mil millones de años atrás.

— Es decir, ¿ya he existido? —preguntó Barkálov conmovido.

— Es muy posible que hasta un sinnúmero de veces.

Aunque Barkálov era puro matemático, acostumbrado a operar con las abstracciones más inverosímiles, ahora no podía volver en sí. Tal vez, precisamente porque en el caso dado lo notoriamente abstracto se tornó inesperadamente real de una manera irremediable y dura. Y además porque ese hecho real le tocaba a él muy directamente.

Para recobrar de nuevo el terreno bajo los pies, le era necesario pensar la situación por diferentes lados tratando de enlazarla con las nociones corrientes:

—De todas maneras, me extraña mucho comprender que uno ya ha existido varias veces, ha

vivido varias veces en la Tierra. Y es que hasta ahora ninguno de nosotros ha sentido nada semejante de alguna manera.

— Es posible que esto no sea completamente así —replicó Matvéev—. No se excluye que ciertas señales del pasado de todas maneras hayan llegado hasta nosotros. Pero no hemos sabido comprenderlas.

— Bueno —dijo Barkálov sin asimilar todavía lo que conoció—. Por consiguiente, ¿resulta que ya he perecido varias veces en una catástrofe ferroviaria?

Matvéev se encogió de hombros con un gesto indeterminado y murmuró algo poco comprensible. Cierto tiempo reinaba el silencio. El académico le seguía a Barkálov con inquietud. Pero éste ya se dominó tanto que recuperó de nuevo la facultad de razonar:

— Antaño la gente decía: es imposible huir del destino... lo que debe ocurrir, no puede evitarse. Resulta que así es. ¿Solamente repetimos lo que ya ha sucedido varias veces, como los actores que interpretan constantemente una misma pieza?

— Pero decían también otra cosa replicó Matvéev—. Si se supiera de antemano lo que pasará, se podría evitar muchos desagrados. Por eso se dirigían a los oráculos y astrólogos de todo tipo. Pero, esa gente no podía saber nada del futuro.

— Pero ahora —sonrió Barkálov— ha aparecido un oráculo capaz de leer el futuro en el pasado. ¿Ha pensado de cómo sería nuestra vida ahora, cuando hemos de conocer todo de antemano?

— Estamos lejos de conocerlo todo. Somos capaces de obtener la información sólo sobre aquellos acontecimientos que se hallan en los alrededores más cercanos de un punto espacial-

temporal en el ciclo anterior, correspondiente al momento de observación. Pero ahora realmente podemos saber de antemano ciertas cosas.

— ¿Y de qué sirve?

— Me sorprende, Barkálov—respondió secamente el académico—. Sabiendo que el viaje en el expreso del Sur le amenaza con la muerte, usted simplemente puede negarse. ¡Muy sencillo!

— No he pensado en eso —confesó Barkálov—. ¿No provocaré de esta manera alguna paradoja que temo conduzca a la muerte del Universo?

— Es que en el modelo que hemos calculado y cuya justeza, como ha podido convencerse, está confirmada mediante el experimento, el comportamiento de las líneas mundiales obedece a las leyes estadísticas. Y donde rige la probabilidad, allí, como usted comprende, son posibles unas desviaciones considerables de los valores medios.

— ¿Quiere decir que los cuadros de la evolución del Universo en diferentes ciclos no son idénticos del todo?

— Dentro de ciertos límites.

— ¿No ha tratado de aclarar la naturaleza de esas desviaciones? ¿Cuáles son las causas que las generan? ¿Las fluctuaciones?

— Las perturbaciones casuales no desempeñan un papel importante. Como muestran los cálculos, tales perturbaciones del orden natural, por decirlo así, «mueren» bastante rápidamente con el tiempo. Ahora Matvéev hablaba premeditadamente en tono de conferenciante, como si respondiera a las preguntas después de algún informe científico. Trataba evidentemente de hacer menos concreta la conversación para suavizar aquella impresión aturdidora que había causado su informe sobre Barkálov.

— ¿Perturbaciones naturales? —volvió a preguntar éste con asombro—. Discúlpeme, pero no comprendo. ¿Acaso pueden existir algunas otras?

— Como hemos logrado aclarar, las desviaciones estables de las líneas mundiales surgen sólo en tales zonas del espacio-tiempo donde sucede una brusca reducción de la entropía, muy poco probable dentro de los límites de los procesos puramente naturales.

— Tal vez, me haya atontado mucho durante la última hora —sonrió Barkálov—. Todavía sigo sin comprender.

— Tengo en cuenta que sólo los seres razonables son capaces de crear unos estados poco verosímiles que se acompañan de una brusca disminución de la entropía en cierta zona. En el caso dado somos nosotros, usted y yo.

— Ahora empiezo a comprender... Con otras palabras, tuve suerte. ¿Gracias a su teoría y su instalación tengo la posibilidad de salvarme?

— Ya se ha salvado —sonrió Matvéev mostrando el reloj—. El expreso partió hace ventisiete minutos.

Barkálov se puso de pie:

— ¿Ha partido? ¡Pero Rostislav Valeriánovich!.. ¡En el tren hay gente!

Matvéev palideció y su cara cambió de expresión.

— Imagínese que simplemente no he pensado en eso. No se me ha ocurrido: todos los pensamientos estaban concentrados en usted.

— ¿Puede marcar la zona de la catástrofe?

— Con una precisión de hasta trescientos kilómetros de diámetro. Mire el mapa: el centro de la zona se halla en la región del apartadero treinta y siete.

— ¡Todavía podemos llegar a tiempo!

— Serguei Nikoláevich — mandó Matvéev—, ¡tome rápidamente el auto y vaya a la terminal para ver al despachador principal! Trataré de utilizar nuestros canales de comunicación.

Barkálov tardó por lo menos media hora en llegar hasta el despachador principal. Por el camino decidió que no diría nada al despachador sobre los modelos cíclicos: es que para una persona no preparada es completamente imposible llegar a comprender en seguida algo semejante. Por eso simplemente dijo que su instituto había obtenido el pronóstico de un derrumbe de montaña muy fuerte en la zona por donde debe pasar el expreso del Sur, y pidió, para evitar una catástrofe, retener para cierto tiempo el tren mientras no alcanzó la región peligrosa.

El despachador principal se encogió de hombros:

— Ya me ha llamado su académico sobre este asunto, pero le aseguro que los temores son vanos. El trazado pasa a una distancia notoriamente segura de los macizos montañosos. Mire el mapa.

«Efectivamente —pensó con asombro Barkálov—, ningún derrumbe es capaz de vencer una distancia así».

— ¿Qué ha dicho el académico? —se informó él.

— Ha prometido dirigirse a los jefes superiores. Pero todavía no ha llegado ninguna orden. Pero hasta si llegase...

— ¿Qué pasaría entonces?

— Mire, no tenemos comunicación telemétrica con el expreso del Sur. Lo conduce un autómata programado: el trazado es simple. Así que de todas maneras no podemos transmitir ninguna orden.

— ¿Pero cómo puede ser así?

— Le aseguro que el sistema es absolutamente seguro. Ni una sola avería, hasta la más insigni-

ficante, durante doce años. La posibilidad de una catástrofe prácticamente se excluye.

— ¿Y teóricamente?

— A no ser que se venga el cielo abajo...

— ¿Y si se viene de verdad?

— Usted sabe que la seguridad al cien por cien no existe hasta en el propio apartamento. Siempre queda cierta fracción de riesgo.

«En vano pierdo aquí el tiempo —pensó Barkálov—. Hay que alcanzar el expreso en el auto. Si me doy prisa, podré alcanzarlo justamente cerca del límite de la zona de peligro. Y ya veremos..»

— Desde luego, podemos mandar un helicóptero de control—seguía explicando el despachador principal—. Pero éste sólo podrá realizar la observación. Como ya he dicho, ese expreso no tiene mando exterior. Pero su computadora es capaz de evaluar por sí misma cualquier situación...

Sin embargo, Barkálov ya no le escuchaba. Fijaba apresuradamente la mirada en un enorme esquema de la vía férrea que pendía en la pared, tratando de recordar cómo pasa la carretera. Luego, bajando precipitadamente la escalera, tomó el auto dando todo gas casi enseguida...

Cuando el oído de Barkálov alcanzó el ruído del lejano derrumbe, quitó la velocidad y escuchó. Los truenos amortiguados se oían algo adelante y a la derecha de la carretera.

— Es extraño —pensó Barkálov—. Ese derrumbe realmente no puede causar ningún daño al asiento de la vía férrea: está demasiado lejos y aparte.

La carretera serpenteó, y ante los ojos de Barkálov se abrió por un instante la flecha del asiento de la vía férrea. En el azul del crepúsculo vespertino que comenzaba a hacerse más espeso, tuvo tiempo para notar a lo lejos tres ojos bri-

llantes: las luces del expreso que corría a todo vapor en persecución de él. El expreso donde tendría que encontrarse él mismo, si no existiese lo que había pasado en las últimas horas...

Barkálov miró adelante, allá donde en la neblina de la noche se adivinaban los contornos lejanos de los montes. Le pareció conocido el terreno. Pisando el pedal, aumentó la velocidad.

Ahora Barkálov iba con tal cuenta que la distancia entre él y las luces del expreso permaneciera invariable. Si adelante surge inesperadamente algún peligro, tendría una reserva de unas decenas de segundos para poder emprender algo. La verdad es que ni se imaginaba cómo ayudar en semejante caso. Pero el temor por la gente que se hallaba en los vagones del tren y nada sospechaba sobre un posible peligro, lo hacía ir adelante.

A la derecha apareció y desapareció la señal del paso a nivel, y Barkálov tuvo que bajar la velocidad y luego pisar el freno: el camino fue cortado por una barrera.

El paso a nivel atravesaba un ramal que iba a la derecha de la línea troncal, y la posición cerrada de la barrera enseguida alertó a Barkálov. Dado que el expreso se aproximaba por la vía principal, el ramal tenía que quedar libre. En estas circunstancias, la barrera que cortó la carretera parecía algo contranatural.

Detrás, en alguna parte surgió un estruendo creciente, y sobre la cabeza de Barkálov voló rápidamente un helicóptero golpeando en el auto con una ola espesa de aire.

— El académico Matvéev actúa —se le ocurrió a él. De sopetón Barkálov vio algo que hizo que se helara el corazón y latiera la sangre en las sienes.

Por el ramal rodaban precipitadamente, cuesta

abajo, en dirección al paso a nivel, tres vagones de mercancías.

— ¡Aquí está! —se percató instantáneamente Barkálov. Allá, en algún lugar entre las montañas, el derrumbe cortó un tren de mercancías, y ahora los tres vagones de cola, cogiendo velocidad, corrían precipitadamente hacia la vía principal.

Echando una mirada a las luces del expreso que se aproximaba, Barkálov se imaginó con una nitidez despiadada qué pasaría dentro de unas decenas de segundos. Los vagones de mercancías alcanzarían la vía principal justamente en el momento de atravesar el expreso el paso a nivel. Un golpe lateral, y... en la memoria de Barkálov surgió un cuadro de la televisión: un montón desordenado de vagones desfigurados, cadáveres de los perecidos...

Precisamente aquel caso extraordinario, cuando la automática era impotente. Si el tren de mercancías tuviera una locomotora rellena de electrónica, entonces, recibiendo la señal de que la vía principal estaba ocupada, indudablemente se pararía. Pero los vagones cortados del tren se hicieron no dirigibles. Y desde el punto de vista de la automática electrónica del expreso todo estaba bien: seguramente, una situación semejante no estaba prevista en su programa...

El helicóptero, haciendo un círculo, quedó suspendido sobre el paso a nivel: por lo visto el piloto también se dio cuenta de la situación de avería.

— Pero desde el helicóptero no se puede hacer nada —recordó Barkálov las palabras del despachador.

Entre tanto, el expreso y los vagones de mercancías se aproximaban inevitablemente. Ahora estaba claro que el tren de pasajeros no tendría tiempo para pasar. Los pensamientos de Barkálov se agitaban febrilmente buscando salida...

La decisión llegó en el momento cuando las siluetas obscuras de los vagones de mercancías crecieron silenciosamente casi ante el propio paso a nivel; Barkálov dio gas, y el auto, arrojando hacia un lado la flecha rayada de la barrera, se lanzó al paso cerrando la vía. Barkálov no tuvo tiempo para saltar...

El silencio de la noche fue roto por el crujido del metal que se rompía. Aplastando el auto, los vagones pesados seguían avanzando. Pero la velocidad fue reducida. Y cuando los vagones, empujando delante de sí los restos de lo que hacía poco se llamaba automóvil rápido, salieron rodando a la vía principal, el expreso de pasajeros ya había pasado. La catástrofe, tal vez repetida un sinnúmero de veces antes, en los ciclos anteriores de existencia del Universo, esta vez fue prevenida...

— Lastimadamente, Barkálov ha fallecido —dijo el académico Matvéev en la reunión del Consejo científico—, pero lo hizo no sometiéndose sumisamente a la marcha de los acontecimientos establecida una vez y para siempre, sino sabiendo intervenir en esta marcha y cambiarla... No tuvo tiempo para llevar a cabo la construcción de una nueva teoría por él elaborada. Pero conservó para el futuro, a costa de su vida, las vidas de centenares de personas capaces de crear muchas veces más de lo que puede hacer una persona. Una cosa más... Barkálov demostró que el transcurso de los acontecimientos depende de la gente, y cualquiera que sean los acontecimientos que pasaran en los ciclos anteriores, nuestro futuro depende solamente de nosotros. ¡Seamos optimistas!

¿Circulación de los mundos?

Tanto en la filosofía de Grecia Antigua como en los sistemas filosóficos de la India, China y Oriente Medio existía la idea del «retorno perpetuo», «círculo de tiempo».

Algo parecido hallamos en ciertos modelos cosmológicos modernos. Por oposición al tiempo «que se comienza», se examina también una variante con tiempo cíclico, es decir, cerrado «en sí mismo».

En 1949, en la Universidad de Princeton, donde trabajó en aquel entonces A. Einstein, el matemático de renombre Kurt Gedel efectivamente intervino con el discurso «Tiempo en la teoría general de la relatividad». En este discurso demostraba la posibilidad de las líneas geodésicas cerradas en el tiempo para cierta clase de modelos del Universo. Traducido al idioma corriente, esto significa que el Universo puede retornar, dadas ciertas condiciones, a su estado primitivo, y en adelante repetir exactamente una vez tras otra los ciclos ya pasados.

Si semejante variante cíclica se cumpliera realmente, esto significaría prácticamente que la expansión de nuestro Universo tiene que sustituirse en el futuro por la compresión hasta una densidad infinitamente grande. Luego comenzaría una nueva dilatación, en el proceso de la cual surgirían los mismos objetos cósmicos. En cierta etapa se formaría de nuevo nuestra Tierra, y sobre ésta se repetirían los mismos acontecimientos y nacería la misma gente que viviría una vida exactamente igual a la de sus dobles en el ciclo anterior... Y así un número infinito de veces.

Albert Einstein asistió a la conferencia de Gedel, pero ahora es difícil juzgar sobre su actitud verdadera hacia las ideas expuestas. Los

recuerdos de los testigos sobre este asunto realmente son diferentes. Según unos, en la discusión sobre el informe el gran físico notó que los resultados expuestos no le gustaban, según otros, por el contrario, acogió las ideas de Gedel con cierta simpatía.

Transcurridos muchos años, el célebre físico-teórico S. Chandrasekar examinó de nuevo detalladamente el modelo propuesto por Gedel y llegó a la conclusión de que las trayectorias cerradas que surgen en éste están exentos de sentido físico. Sin embargo, Chandrasekar utilizó en este caso el método de la elección «físicamente racional», mientras que el método dado siempre está enlazado con unas admisiones intuitivas arbitrarias.

Pero, al fin y al cabo, el asunto inclusive no está en que es justo o no el modelo propuesto por Gedel. Al parecer, de todas maneras no es correcto. Es que ese modelo es sólo un caso particular especial. Entre tanto, existen otros modelos que satisfacen las ecuaciones de la teoría de la relatividad y también contienen las líneas cerradas de tiempo.

El hecho de que la situación con el regreso al pasado, descrita por Gedel, es imposible en el modelo por él propuesto (así es la opinión de Chandrasekar), no excluye en general tal posibilidad dentro del marco de la teoría general de la relatividad. Estaría bien, por supuesto, demostrar para el caso general la imposibilidad de semejantes líneas geodésicas cerradas en el tiempo, pero hasta ahora sólo puede decirse que el ejemplo particular, expuesto por Gedel, resultó incorrecto...

Con otras palabras, del hecho de que los regresos cíclicos del Universo al pasado son imposibles en el modelo especial propuesto por Gedel no se desprende todavía que el mundo con líneas de

tiempo cerradas no puede existir totalmente. Pero hace falta demostrar que esto es realmente así...

Por supuesto que la situación fantástica cosmológica construida en el cuento es sumamente convencional. Hasta si el Universo realmente pasara periódicamente a través de los estados con iguales condiciones iniciales, de todas maneras las situaciones concretas completamente iguales prácticamente no podrían repetirse. Tales repeticiones son posibles sólo desde el punto de vista de la física clásica del siglo XIX, que reducía toda la variedad infinita de los fenómenos mundiales a unos procesos puramente mecánicos, a un enlace «férreo» de causas y efectos. Sin embargo, la ciencia del siglo XX demostró convincentemente que los acontecimientos casuales desempeñan un papel primordial en el movimiento de la materia. No son capaces de cambiar la dirección general de la evolución de la materia, pero gracias a éstos, las situaciones concretas que surgen en el curso de esa evolución pueden diferir ostensiblemente hasta en el caso, cuando los puntos de partida del desarrollo han sido estados físicos absolutamente iguales.

Esto se refiere no sólo a la naturaleza no viva, sino también a la actividad de los seres racionales. A propósito, en el cuento tal desviación accidental de la marcha «estándar» de los acontecimientos fueron las acciones de su protagonista, el físico Barkálov, que influyeron considerablemente en el «resultado final».

EN VEZ DE CONCLUSIÓN

"La revolución se aplaza" (ciencia-ficción)

El menudo disco del Sol se puso muy bajo sobre el horizonte y, como siempre, se hizo rojizo-violeta. Para el ojo humano terrestre, todo en este planeta parecía no natural. Pero lo peor eran esas puestas color rojizo-violeta que fastidiaban...

Por lo demás, todo esto no le oprimía nada a Kley. Durante dos años de la guardia cósmica, primera en su vida, él no perdió todavía el interés por lo insólito.

Kley caminaba lentamente por un sendero que subía a una casita de base. En las manos llevaba una pequeña bola oscura, cuyo tamaño era un poco mayor que el de la bola de billar...

Por fin, Kley llegó hasta el zaguán y subió pesadamente por la escalera. Resoplando, como si hiciera un trabajo difícil, entró en el cuarto interior, cerró detrás de sí la puerta de acero y puso la bola sobre el suelo.

La bola comenzó a sonar lastimada y prolongadamente.

Ferry se movió en su cama.

— ¿De nuevo has traído alguna porquería? —alargó perezosamente sin mover la cabeza.

— ¡Sólo mira aquí! —dijo con entusiasmo Kley—. Tan pequeño que es, pero pesa unos veinticinco kilos, si no treinta.

— ¿Por qué no estás aburrido de hurgar en esta basura? —notó Ferry con el mismo tono indiferente siguiendo con la cara vuelta a la pared.

— ¿Basura? —se indignó Kley—. ¡Es que esto lo han dejado ellos!

— Ya hace mucho tiempo que esto está investigado —pronunció Ferry con una voz que daba lata—. Sin nosotros...

— ¿Tal vez, no todo?

— Válgame dios —gruñó Ferry—. Qué clase de gente es esa.

Se volvió gimiendo y bajó los pies sobre el suelo:

— Vamos a ver...

Kley se acuclilló y pasó cariñosamente la mano por la bola como si acariciara un gatito.

La bola realmente tenía un aspecto insólito. Estaba hecha de un material extraño que no se parecía ni al metal, ni a los polímeros, y era casi transparente, pero a la vez no se podía ver lo que tenía dentro. La superficie de la bola centellaba y brillaba de una manera extraña, y sobre ella aparecían y desaparecían unos arabescos nublados.

— ¿La ves?

— ¿Y qué? —encogió inmutablemente de hombros Ferry—. Una bola cualquiera.

— Eres un muchacho extraño, Ferry —Kley arrugó la frente, y sus cejas oscuras y espesas se unieron sobre el caballete. Era un indicio seguro de que empezaba a irritarse—. Nada te toca ni impresiona...

— ¿Acaso en el mundo ha quedado todavía algo sorprendente? —sonrió maliciosamente Ferry—. Sobre todo aquí, en este planeta olvidado

por dios, de donde ya hace mucho que se largaron todos los indígenas...

Kley gruñó.

— No, ya hace muchísimo tiempo que todo está explicado—suspiró Ferry—. Ningunos enigmas. Ningunas sensaciones... Nada que pueda sacudir la imaginación.

— Una filosofía arriesgada—refunfuñó Kley—, puedes caer en una situación embarazosa.

— Hablando francamente, ahora me interesa sólo una cosa: cuantos días nos quedan todavía —cortó Ferry.

Kley se estiró con placer extendiendo los brazos hacia los lados y arriba:

— Y a mí me gusta aquí...

— También yo estaba así en algún tiempo —consintió Ferry—. Quisiera verte después de la quinta guardia. Todo da asco...

— ¡No!

— Está bien, está bien —dijo Ferry con reconciliación—. Guarda tu bola y vamos a cenar.

Kley probó y con la puntera del zapato empujó levemente la bola hacia el rincón del cuarto, donde ya se amontonaba toda suerte de cosas. Pero de repente la bola dio un silbido y se metió precipitadamente bajo la cama, escribiendo sobre el suelo un par de zigzag complicados e inesperados. Ferry, en dos saltos, se encontró cerca de la puerta.

— ¡Idiota! —se lanzó sobre Kley—. ¿Y si es una mina?

— No parece —dijo inmutablemente Kley.

— El diablo lo sabe —gruñó Ferry mirando con recelo a la cama, bajo la cual seguía oyéndose el silbido y chisporreteo extraño—. ¿Qué quieres que hagamos con ésta?

— Cuando la encontré, al principio también silbaba. Pero luego nada, se tranquilizó.

El silbido poco a poco cesó.

— Ahora bien —dijo con firmeza Ferry—. ¡Al diablo todo! Quieras o no, la llevo enseguida al depósito. Así será más tranquilo.

Se acercó a la cama, se arrodilló, extendió cautelosamente la mano y tomó la bola.

No pasó nada. Entonces Ferry tiró de la bola. Pero ésta como si estuviera de plantón.

— ¡Qué cosas del diablo son éstas!

— No quiere ir al depósito —sonrió Kley.

La bola, como respondiendo a sus palabras, de repente salió a escape, pasó por debajo de la mano de Ferry, se acercó rodando a los pies de Kley, se frotó, como si le hiciera caricias, contra su zapato y de nuevo se coló rápidamente bajo la cama.

— Oye, Ferry —preguntó pensativamente Kley—, y si esto...

— ¿Qué?

— ¿Y si es... racional?

— Tontería. Los habitantes de este planeta eran de dos piernas y dos manos, así como el hombre. Esto está establecido con seguridad.

— A mí me parece que algo comprende... Mejor déjala en paz.

— Bien —se rindió Ferry—. Que se quede aquí...

Empezó a preparar la cena, echando de tiempo en tiempo miradas cautelosas en dirección a la cama. Pero la bola se portaba tranquilamente.

— ¿Qué tenemos hoy? —se interesó Kley sentándose a la mesa.

— De primer plato, el plato número trece quebrado tres—comenzó Ferry—, el segundo plato...

Kley se frunció dolorosamente.

— De nuevo te atrae esta docena del fraile...

— ¿Eres supersticioso? —preguntó Ferry—. Es el manjar más delicado.

— Témele a dios, Ferry. Es que comemos ese quebrado un día sí y otro no: exactamente los días de tu guardia.

— ¿El señor deseaba un bistec? ¿Tal vez, lo quiera con sangre?

Kley giró los ojos imaginativamente.

— La mitad de la galaxia por un pedazo de carne...

— Mira —comenzó Ferry, pero de sopetón se atragantó y clavó la mirada fija en la mesa—, ¡qué diablo!

Kley también miró la mesa y se puso de pie dejando caer con estrépito el taburete.

Delante de él estaba sobre el plato un enorme pedazo de carne bien asada exalando un olor provocador.

Kley extendió lentamente el brazo y con el índice tocó cautelosamente el bistec misterioso.

— Carne...

— Tonterías. ¿Cómo puede haber aquí carne?

— No lo sé —dijo Kley—, pero es carne.

Sacó una navaja y, sosteniendo el bistec con la mano izquierda, cortó cuidadosamente una pequeña loncha. En el corte sangró un líquido rosado. Kley enganchó el pedazo cortado con la punta de la navaja y lo acercó a la boca. Mordió con precaución. Trasladó con la lengua de una carrillo a otro y comenzó a masticar con aspecto ensimismado...

— ¡Diablo, es carne! —gritó él—. Verdadera carne!

Ferry, quien lo observaba con ojo avisor, sonrió:

— ¿Carne? Maldito planeta. Sólo nos faltan alucinaciones para estar felices del todo.

— ¡Al diablo con alucinaciones! —enseñó los dientes Kley—. Te digo que es un bistec. Y además exelente. ¿Acaso estás ciego, no lo ves?

— Pues, lo veo... ¿Y qué importa? Es una ilu-

sión óptica. No puede imaginarse alguna otra cosa.

— Ah, ¿una ilusión? Entonces pálpalo.

Kley tendió la navaja, en la punta de la cual roseaba el pedazo de bistec.

Ferry frunció el ceño, pero, de todas maneras, palpó cautelosamente varias veces la carne con dos dedos.

— ¿Ahora sientes?—preguntó Kley.

— Siento. ¿No da igual? ¿Donde está la garantía de que todo esto no es una alucinación?

— Ahora lo meto en tu bocaza —se irritó Kley.

Pero Ferry ya quitó la carne de la navaja. Masticaba lentamente, chasqueando la lengua y de vez en cuando tomando el aliento.

— ¿Te has convencido?

Ferry se encogió de hombros:

— ¿De qué? En realidad, ¿qué he sentido? Algo caliente en la lengua, el sabor a carne, pero tanto uno como otro son solamente mis sensaciones: ¡no existe ninguna carne, no!

Kley soltó una carcajada.

— Excelente, viejo. Me quedará más a mí.

Aproximó el taburete a la mesa y comenzó a comer enérgicamente el bistec misterioso. Ferry también se sentó a su lado y, musitando algo con aire descontento para sí, se puso a comer no menos activamente su querido «trece».

— Ha sido delicioso —dijo Kley acabando con el bistec.

— En tu lugar no me olvidaría del trece.

— ¿Para qué? —se sorprendió Kley—. Estoy lleno ya.

— Es que las ilusiones, en caso de ser comes tibles, por lo menos tienen pocas calorías.

Kley miró a Ferry con lástima:

— ¿Sigues creyendo que este pedazo de carne es una ilusión?

— Por supuesto que sí. ¿Y qué otra cosa puede ser?

— Tu mismo has dicho que las ilusiones no pueden servir de comida. Pero estoy harto.

— La saciedad también es una sensación. Por eso puede ser ilusoria.

— Pero el bistec ha sido real del todo.

— Entonces, ¿crees en dios? —preguntó Ferry.

— ¿Qué tiene que ver dios?

— ¿Cómo puede ser de otra manera? Acabamos de presenciar un milagro. De nada surgió un pedazo de carne. Es una mística.

— No es ninguna mística. Al parecer, estás hecho aquí un salvaje, porque se te olvidó de Einstein.

— ¿Qué tiene que ver Einstein?

— Bo-ni-to... Tiene que ver, dado que la masa depende de la velocidad. De un par de partículas, si se las acelera bien, se puede fabricar una galaxia entera. Y aquí se trata de un bistec.

— Supongamos —asintió cansadamente Ferry—. ¿Pero donde has oido hablar de que los átomos por sí mismos se compongan en un bistec bien frito? La probabilidad de tal acontecimiento es diez a alguna potencia menos cien mil. Prácticamente es cero.

— Tienes razón, naturalmente, si no se tiene en cuenta que el bistec ha surgido precisamente tal como me lo imaginé.

— ¡Magnífico! ¿Entonces tú eres dios?

— ¡Diablo! —se echó a reir Kley—. Tremendo descubrimiento has hecho. A propósito, no le conviene a dios mencionar al diablo.

— No importa. Está en tu poder lo de absolver los pecados a tí mismo.

— Pura verdad. Sólo no sé hacer milagros.

— Intenta probar —se sonrió Ferry.

— Porqué no —dijo despreocupadamente Kley mirando alrededor—. ¿Qué podría inventar?

— Da igual —Ferry se arrellanó en la butaca que estaba en un rincón del cuarto poniendo una pierna sobre otra. Como siempre después de la cena, se le puso un humor complaciente—. Quien es capaz de hacer milagros, no le importa qué crear precisamente... Crear o aniquilar...

— Espera —continuó Kley—, ¡es una idea!

Entornó maliciosamente los ojos y miró a Ferry:

— Anda, vamos a probar. Que la butaca, en la cual estás sentado, deje de existir...

No pasó nada.

— Has fracasado, milagrero de pacotilla —rió Ferry.

De sopetón se cortó y empezó a agitarse impacientemente, ya que con la butaca pasaba algo extraño. Se torció inverosímilmente, como en una película de dibujos animados, coceó con las patas, como si fuera un caballo terco, y empezó a desvanecerse...

—¡ Ea! —gritó Ferry, pero ya era tarde. La butaca desapareció definitivamente, y él cayó con estrépito sobre el suelo.

— Mira eso... —alargó Kley.

— ¿Qué burlas tan bobas? —se enfureció Ferry frotando el codo magullado.

Kley ya volvió en sí.

— ¿Acaso ha pasado algo?

— ¡Vaya una pregunta!

— Ah, te has caído, te has golpeado... Pero son solamente tus sensaciones...

— Deja de bromear... —quiso empezar Ferry, pero se calló mirando al lugar donde acababa de estar la butaca—. Son cosas de brujas...

— Así es —notó satisfactoriamente Kley y aniquiló la mesa.

Ferry sólo dijo «hum».

Kley ya tomó el gusto. Tras de la mesa aniquiló un taburete, después otro, luego la mesita, creando después de nuevo el taburete.

— Espera —gritó Ferry—. Basta ya.
— ¿Qué ha pasado? —se informó Kley.
— Estás totalmente privado de fantasía, esto es lo que pasa. Aniquilaste—creaste, aniquilaste—creaste... pareces una criatura. Por fin, esto se hace aburrido.
— Dentro de cada uno de nosotros vive una criatura —dijo Kley.
— De todas maneras, hubieras podido inventar algo más interesante.
— Toda mi vida he soñado con la varita mágica —continuaba Kley sin escucharlo—. Ahora, al parecer, la tengo, pero, por desgracia, no puedo inventar nada... En mi infancia no he tenido tales juguetes.
— Para tí son juguetes —gruñó Ferry—, y para mí...
— ¿Y qué dice tu querida lógica? —no se paraba Kley—. Ha pasado algo contrario a todas las leyes, ¿no es así? Pero si todas las leyes ya son conocidas, como afirman ciertas personas, hay que aceptar que existe «algo» que es superior a las leyes. ¿Qué dirás?
— Diré que tienes razón —dijo con aire sombrío Ferry.
— ¿Qué? —se sorpendió Kley—. ¿Lo dices en serio?
— No estoy para reír, Kley.
— Tonterías —cortó Kley—. Simplemente alguna nueva paradoja.
— Vaya una paradoja... ¿El milagrero de Kley? ¿Tal vez, escribirás una fórmula? ¡Basta ya! Regreso a la Tierra y me hago un misionero. Volaré a los planetas contando sobre los milagros... Te llevaré consigo en vez de material didáctico.
— ¿Por qué no? —dijo Kley poniéndose en jarras—. No te llenaré de oprobio. Sólo tendrás que recordar más raramente al diablo.

— Tal vez, el culpable es el diablo. ¿Cómo lo sabes?

— No lo sé —asintió Kley—. Sólo sé que me sale bastante bien.

— Entre tanto, ¿cómo lo haces?

— Muy simplemente: trato de imaginarme lo más claramente posible lo que quiero. Visiblemente. Esto es todo.

— ¡Diablo! —gritó de repente Ferry—. ¡Mira!

Kley se volvió. La bola estaba justamente cerca de la pared, allá donde acababa de estar la cama. Se hinchó hasta el tamaño de un balón de fútbol y pulsaba intensamente, luciendo por dentro con una luz centelleante de color esmeralda. Kley se aproximó a la bola y se inclinó sobre ésta.

— ¿Es tuyo el trabajo? —preguntó él.

El color de esmeralda se convirtió momentáneamente en el de rubí. La bola se desprendió del suelo, saltó hacia arriba aproximadamente a un metro y medio, casi rozando a Kley, por un instante se mantuvo volando inverosímilmente en el punto más alto, bajando luego y poniéndose de nuevo verde.

— ¿Cómo se comprende esto? —preguntó confusamente Kley.

— Quizás, una especie de confirmación —supuso Ferry.

— Por lo demás, con igual éxito puede ser una negación.

— Bien... —alargó Kley siguiendo mirando pensativamente a la bola—. Además —se animó él—, ¡tengo una idea!

Kley se acercó a la bola casi muy pegado.

— Si esto es «sí» —pronunció pausando—, que desaparezca...

Kley se volvió, pero gracias a sus esfuerzos el cuarto estaba casi vacío. Por un instante su mirada se paró en Ferry. En los ojos de Kley bailaron unas chispas maliciosas.

— Deja, deja —se asustó seriamente Ferry.

— ¿Y qué importa? —dijo inocentemente Kley—. Después te «creo» de nuevo.

—Me crearás... Tal como me imaginas. Pero será un Ferry completamente diferente. No, déjame en paz.

— Que sea así —asintió con benevolencia Kley—. Entonces —se volvió de nuevo a la bola—, si esto ha sido un «sí», que aparezca de nuevo la mesa.

La mesa apareció en el mismo instante.

— Ahora —dijo Kley— nos resta por aclarar qué significa «no»... Luego se podrá jugar al juego, por el cual me entusiasmaba en la infancia: adivinar cuando te responden sólo con «sí» o «no».

— No cuesta mucho trabajo aclararlo—notó Ferry. Atravesó el cuarto y se puso al lado de Kley.

— ¿Cómo se designará «no»? —preguntó mirando a la bola.

Esta vez la bola se quedó inmóvil, pero su color verde vivo se transformó en el de huevo.

— ¿Qué ha sido esto? —preguntó Ferry señalando con la mano un amplio semicírculo en el aire—. ¿Una magia?

El color de huevo se hizo aun más venenoso.

— ¿Lo ves? —dijo Kley—. Aun te afligiste de que en el mundo no había quedado nada desconocido... Los habitantes de este planeta conocían más que tú y yo.

— Espera —manoteó Ferry y se volvió de nuevo a la bola—. ¿Entonces, existen leyes de la naturaleza aun desconocidas por nosotros, por él y yo, por la ciencia terrestre?

La bola enrojeció bruscamente.

— ¿Y todo lo que acaba de pasar obedece a esas leyes?

La bola empezó a centellear con la luz rubí.

— ¡ Adiós, misiones! —rió Kley—. Tendrás que dar las espaldas una vez más a tí mismo y ocuparte de la destrucción de la física moderna.

— No hagas payasadas —frunció el ceño Ferry—. Mejor piensa en cómo podríamos conseguir toda aquella información... ¿Podríamos obtener la información correspondiente? —se volvió él a la bola.

La bola se puso amarilla.

— Planteas el problema incorrectamente, Ferry —notó Kley.

— Tienes razón, Kley, no es una pregunta, más bien, una desilusión.

— Parece que yo comprendo. Así la han programado aquellos quienes vivieron aquí antes.

— Gracias por la aclaración; de una manera u otra, yo mismo llegaría a comprender esto. ¿Pero por qué? ¿Por qué no quisieron compartir los conocimientos con nadie?

— Tal vez, no se puedan regalar las leyes de la naturaleza en forma acabada, hay que obtenerlas sufriendo nosotros mismos.

— ¿Para qué sirve entonces toda esta fantasmagoría? —pronunció Ferry.

— No sé... Posiblemente, para destruir nuestra costumbre de absolutisarlo todo. Tu costumbre...

— Tendremos que llevarla consigo a la Tierra. Allá veremos —dijo Ferry.

La bola brilló de nuevo con luz amarilla.

— No quiere ir a la Tierra —notó Kley.

— ¿Qué significa no quiere? Al fin y al cabo, es sólamente una máquina.

La luz amarilla se tornó cegadora.

Ferry hizo un paso en dirección a la bola.

Esta empezó a temblar como si fuera un pájaro que cayó en un lazo.

— ¡Cuidado, Ferry! —gritó Kley.

— ¡Da lo mismo! —Ferry extendió el brazo.

En el mismo instante la luz amarilla se apagó. La bola salió a escape, se deslizó entre Kley y Ferry, se lanzó a la puerta cerrada y se escapó, atravezándola sin obstáculo.

Kley y Ferry se miraron desconcertadamente, luego miraron a la puerta que se quedó intacta.

— ¡Diablo! —murmuró Ferry—. Veinte centímetros de acero al titanio!

Kley ya volvió en sí.

— En su lugar hubiera hecho lo mismo —dijo él pensativamente.

— Vaya... —Ferry suspiró—. De todas maneras, no supimos nada. —Se sonrió por alguna razón—. Está bien, la revolución en la física se aplaza.

— Te equivocas, supimos —replicó Kley—. Y no pocas cosas.

— ¿De qué se trata?

— Supimos que esta revolución es irrevocable. Y esto significa algo.

Claro está que este cuento no debe comprenderse en el sentido de que en la naturaleza son posibles cualesquiera acontecimientos y fenómenos, hasta los más inverosímiles, y que la ciencia podrá explicar en el futuro las cosas que no pueden existir nunca.

Se trata de algo diferente. El mundo que nos rodea es infinitamente multifacético e inagotable. Y cualquiera que sea el nivel de desarrollo de la ciencia, en ésta siempre existirán fenómenos todavía no estudiados por el hombre. Los fenómenos que no contradicen, por supuesto, a las leyes objetivas de la naturaleza, tanto ya descubiertas como todavía no descubiertas.

Cualquier nivel de nuestros conocimientos es relativo. Por eso el camino de la investigación científica del mundo circundante, según la expresión acertada del G. I. Naan, académico de

la AC de la RSS de Estonia,—¡es una vía sin meta!

¡El Universo es el tesoro del saber! Su estudio ya ha traído al hombre no pocos nuevos descubrimientos asombrosos e inesperados. Pero cuanto más amplios son nuestros conocimientos, tanto mayor es la línea de contacto con lo desconocido, tanto más grande es la probabilidad de las sorpresas asombrosas que nos trae el nuevo conocimiento.

No obstante, ese conocimiento no llega por sí mismo. Lo conquista la gente en el proceso de una actividad científica intensa. Una actividad que corresponde a las necesidades prácticas de la civilización terrestre, los problemas vitales de la sociedad humana. Estudiamos el mundo circundante no arbitraria y caóticamente, sino separamos en el proceso de la investigación científica aquellos fenómenos, el estudio de los cuales es imprescindible para lograr nuestros fines prácticos.

No se excluye que en el Universo realmente existen civilizaciones altamente desarrolladas que nos han dejado atrás en su desarrollo y que poseen unos conocimientos más profundos sobre el mundo. Sin embargo, no podemos y no debemos enlazar nuestro futuro con las esperanzas fantásticas sobre el intercambio de información con otros seres racionales en el Universo. Tales esperanzas pueden resultar vanas ya porque no podremos entendernos, ya porque las civilizaciones extraterrestres no existen en absoluto.

El nivel de desarrollo alcanzado por la civilización terrestre, los éxitos más grandes en el conocimiento del mundo, el progreso de la técnica y la tecnología no dejan la menor duda de que la humanidad, siendo correspondientes las condiciones sociales, es capaz de resolver indepen-

dientemente los problemas más complicados y difíciles sin alguna ayuda exterior.

Los acontecimientos que suceden en la astronomía de la segunda mitad del siglo XX nos convencen de esto una vez más. Las últimas décadas no sólo han traído consigo los nuevos métodos de investigación de los fenómenos celestes, en particular, la técnica cósmica, y han convertido la astronomía en una ciencia omnímoda, sino han cambiado de una manera bastante esencial nuestras nociones de la física del Universo y el carácter de los procesos que en ésta transcurren.

A principios del siglo, tanto el propio Universo como los cuerpos celestes que lo habitan, a excepciones muy raras, parecían casi invariables, estacionarios; se creía que los objetos cósmicos evolucionan muy lenta y suavemente, pasando paulatinamente de un estado estacionario a otro.

Sin embargo, el siglo XX introdujo en estas nociones unos cambios cardinales. Resultó, ante todo, que vivimos en un Universo expansivo no estacionario. Luego fueron descubiertos los fenómenos no estacionarios acompañados del desprendimiento de unas cantidades colosales de energía, potentes procesos explosivos. Se hizo claro que no sólo el Universo cambia con el tiempo, y su pasado no es idéntico a su presente y futuro, sino en realidad en todos los niveles de existencia de la materia transcurren procesos no estacionarios, pasan transformaciones cualitativas de la materia, suceden profundos saltos cualitativos.

Con arreglo a esto cambió también la tarea principal de la astrofísica moderna: se convirtió en una ciencia de evolución que estudia no sólo el estado moderno de los objetos cósmicos, sino también las leyes de su origen y desarrollo. El conocimiento de esas leyes permite pronosticar

el futuro estado de los planetas, las estrellas, galaxias y otros cuerpos cósmicos, que tiene gran importancia tanto científica como práctica.

Los descubrimientos astronómicos del siglo XX trajeron consigo una visión completamente nueva del mundo astronómico: en lugar del cuadro de un Universo invariable, estacionario vino el cuadro de un Universo en evolución, no sólo expansivo, sino prácticamente «explosivo». Esta circunstancia nos da todas las razones para considerar los acontecimientos que suceden en la ciencia sobre el Universo en el siglo en curso, así como la reconstrucción radical del sistema de conocimientos sobre el Universo que los acompaña, como la revolución siguiente en la astronomía.

Esta revolución fue la parte integrante de consideración de la revolución científico-técnica que se desenvolvió en la segunda mitad de nuestro siglo y abarcó casi todas las ramas de la ciencia moderna y sus aplicaciones prácticas.

Hoy en día puede considerarse que la revolución en la astronomía, que ha sucedido ante nuestros ojos, está próxima a la conclusión. Pero esto no significa de ninguna manera que no habrá más descubrimientos esencialmente importantes en la ciencia sobre el Universo. ¡Los habrá obligatoriamente!

Los nuevos datos sobre los fenómenos cósmicos siguen acumulándose precipitadamente tanto como resultado de las observaciones ópticas y radioastronómicas terrestres, como gracias a las investigaciones que se llevan a cabo con ayuda de las sondas cósmicas y estaciones orbitales. Entre ellas existen tales que, por lo visto, ya abren páginas completamente nuevas, hasta ahora desconocidas por nosotros, del «libro del Universo» infinitamente variable.

Así, por ejemplo, en el espacio mundial se han descubierto zonas de una envergadura bastante considerable, dentro de las cuales, por lo visto, faltan las galaxias que representan las principales unidades estructurales del Universo. Como resultado de cálculos especiales, efectuados a base de los datos de las observaciones astronómicas con ayuda de computadoras, se pudo establecer que las galaxias que integran las grandes acumulaciones (superacumulaciones) están situadas principalmente en las «paredes» de las células peculiares, los gigantescos «panales» que recuerdan los de abeja. La extensión de cada lado de tal célula es alrededor de 100 millones de años de luz. Hoy en día ya se conocen varios «huecos» semejantes, incluso de un tamaño bastante considerable.

Así, por ejemplo, los astrónomos descubrieron una zona libre de estrellas y galaxias con diámetro de alrededor de 300 millones de años de luz. Estudiaron la distribución de las islas estelares a lo largo de las tres líneas rectas ubicadas muy cerca, dirigidas a las profundidades del Universo. Como resultado de tal sondaje se reveló que en las direcciones elegidas, hasta las distancias del orden de 500 millones de años de luz y a partir de las distancias de alrededor de 800 millones de años de luz las galaxias están ubicadas con suficiente densidad. Pero en el intervalo entre estas metas no se pudo registrar, al parecer, ni una sola galaxia.

Para precisar definitivamente la distribución en el espacio del Universo de los sistemas cósmicos nos espera un trabajo enorme, en particular, el de determinar la posición de decenas de miles de galaxias lejanas. No obstante, las perspectivas son muy prometedoras: los datos obtenidos tendrán una importancia primordial para la solu-

ción de muchos problemas fundamentales de la astrofísica moderna, incluso para aclarar el problema del origen de las galaxias.

Entre tanto, la existencia en el Universo de «huecos», de los cuales se trata, corresponde bien a la hipótesis del origen do las galaxias que se elabora actualmente por el académico Ya. B. Zeldóvich y sus colaboradores.

El estudio de la estructura tridimensional del Universo está vinculado estrechamente con la medición de las distancias hasta los objetos cósmicos lejanos. En esta dirección también se palpan unas posibilidades interesantes. Han surgido gracias al desarrollo do la astronomía do rayos X. Es que una de las fuentes de radiación cósmica de rayos X es el gas caliente rarificado intergaláctico que llena el espacio entre las galaxias en los enjambres de estos sistemas estelares. En la banda de los rayos X, las acumulaciones del gas intergaláctico lucen como las nebulosas extendidas.

Las investigaciones han mostrado que los electrones del gas intergaláctico reaccionan con la radiación relicta. Con relación a esto surge la posibilidad de determinar, mediante la comparación de los datos de las observaciones en las bandas de rayos X y ondas radioeléctricas, no sólo las dimensiones angulares, sino también absolutas de las nebulosas de rayos X. Y si son conocidas las dimensiones reales y angulares de algún objeto alejado, la distancia hasta éste puede calcularse con ayuda de los simples métodos trigonométricos.

De esta manera, no se excluye la posibilidad de que las nubes de gas intergaláctico servirán de patrones largamente esperados para la medición de las distancias cósmicas.

En general, el siguiente desarrollo de las inves-

tigaciones astronómicas desde a bordo de los aparatos cósmicos abre unas perspectivas muy prometedoras. Ya hemos hablado del papel importante que desempeña la determinación del valor de la densidad media de la materia para el desarrollo de nuestras nociones de la evolución del Universo. Una aportación considerable en la solución de este problema pueden hacer las investigaciones transatmosféricas en los diapasones infrarrojo y de rayos X de las ondas electromagnéticas.

Existe también, en principio, la posibilidad de la determinación directa de la densidad media de la materia: a partir de la magnitud del campo newtoniano. Vemos cualquier objeto cósmico prolongado, por ejemplo, una galaxia, bajo cierto ángulo. Y el valor de ese ángulo depende de la distancia: cuanto más lejos está situado el objeto que se observa, tanto menor es ese ángulo. Si en el espacio entre el observador y el objeto a observar existe una materia, entonces, de acuerdo con la teoría general de la relatividad, los rayos luminosos deben curvarse. Partiendo del valor de la curvatura puede evaluarse la cantidad de materia en el espacio entre el observador y el objeto. Pero, para calcular la densidad media basándose en esos datos, hay que saber además medir exactamente la distancia hasta las galaxias lejanas. Acabamos de hablar sobre una posibilidad de solución de ese problema. Pero existe también otro camino: la medición de las distancias con ayuda de radiotelescopios puestos en órbitas cósmicas y situados lo suficientemente lejos unos de otros. Hoy día, después del experimento con el despliegue del radiotelescopio KPT-10 en la estación orbital soviética «Saliut-6», la posibilidad técnica de realizar tales investigaciones parece totalmente real.

Sucede la acumulación vertiginosa de nuevos materiales de las observaciones astronómicas, nuevos hechos. La impresión es que la acumulación cuantitativa debe provocar de un momento a otro el salto cualitativo de turno en nuestros conocimientos sobre el Universo, en la comprensión de la física de los procesos cósmicos. Tal vez, no tardará mucho en llegar.

A NUESTROS LECTORES:

«Mir» edita libros soviéticos traducidos al español, inglés, francés, árabe y otros idiomas extranjeros. Entre ellos figuran las mejores obras de las distintas ramas de la ciencia y la técnica: manuales para los centros de enseñanza superior y escuelas tecnológicas; literatura sobre ciencias naturales y médicas. También se incluyen monografías, libros de divulgación científica y ciencia-ficción.

Dirijan sus opiniones a la Editorial Mir, 1 Rizhski per., 2, 129820, Moscú, I-110 GSP, URSS.

MIR PUBLICARÁ:

M. MAROV

PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR

Este libro narra acerca de una de las ramas de más impetuoso desarrollo y de extraordinario interés dentro de la astrofísica, sobre la investigación de los planetas del Sistema Solar. En las últimas décadas esta rama experimentó con especial intensidad la influencia favorable de los métodos y medios más modernos, descubiertos sobre todo gracias a la utilización de la técnica cósmica y coheteril.

El autor examina los planetas, comparando sus principales propiedades naturales, parámetros de sus movimientos, superficie, estructura interna, propiedades física de sus atmósferas y la meteorología. También se mencionan ciertos problemas comunes a la cosmología de los planetas, historia del desarrollo térmico y evolución climática.

El libro se basa en un abundante material científico, obtenido de investigaciones realizadas por especialistas soviéticos y extranjeros, que incluyen los resultados obtenidos con ayuda de aparatos cósmicos, las mediciones ópticas y radioastronómicas realizadas desde la Tierra, así como la generalización de estos datos dentro de los marcos de modelos teóricos. La obra contiene además un gran número de ilustraciones, entre las cuales ocupan un lugar especial las fotografías de los planetas y sus satélites, con imágenes muy nítidas.

Este libro resultará de interés para todos aquellos que son aficionados a la astronomía, geofísica, investigaciones cósmicas. La obra es fácilmente comprensible para los lectores con un nivel de educación de escuelas de enseñanza media.